



Institut National de la  
Recherche Agronomique



Institut d'Elevage et de Médecine  
Vétérinaire des Pays Tropicaux

## **CORDET 1991**

**MODELISATION DES VALEURS ALIMENTAIRES  
DES FOURRAGES TROPICAUX POUR  
UNE NOUVELLE HIERARCHISATION  
ET DE NOUVELLES RECOMMANDATIONS**

**AUMONT G., XANDE A., SAMINADIN G., GUERIN H.**

**JUILLET 1992**



**STATION DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES**  
B.P. 1232 - 97185 POINTE A PITRE cédex  
GUADELOUPE - French West Indies

## CORDET 1991

### ***MODELISATION DES VALEURS ALIMENTAIRES DES FOURRAGES TROPICAUX : UNE NOUVELLE HIERARCHISATION POUR DE NOUVELLES RECOMMANDATIONS***

**Aumont\* G., Xandé\* A., Saminadin\* G., Guerin\*\* H.,**

\* Station de recherches Zootechniques, Institut National de la Recherche Agronomique,  
Centre de Recherches Agronomiques des Antilles et de la Guyane, BP 1232, 97185  
Pointe à Pitre cedex, Guadeloupe (French West Indies)

\*\* Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux, 10 rue Pierre  
Curie, 94704 Maison-Alfort cedex, France

## ABSTRACT

**Aumont, G., Xandé, A., Guerin, H., 1992. Modélisation des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux : une nouvelle hiérarchisation pour de nouvelles recommandations. Rapport pour la Cordet 1991**

Ce projet avait pour but de permettre la hiérarchisation des fourrages tropicaux à partir de leurs valeurs alimentaires. Il a permis en outre de contribuer à la prévision de la digestibilité *in vivo* des fourrages tropicaux par des méthodes de digestibilité *in vitro* (DIV de Tilley & Terry (1963), méthode pepsine cellulase de Aufrère (Sauvant *et al.*, 1987)). Des banques de données très importantes ont été constituées sur la zone caraïbe en compilant plus de 15 années d'expérimentations menées à la SRZ et dans de nombreux pays de la Caraïbe. Ces données constituent le plus grand ensemble de résultats de digestibilité *in vivo* existant dans la zone. Les relations entre la DIV et la méthode pepsine cellulase sont précisées pour des fourrages d'origine africaine (Côte d'Ivoire, Sénégal). Des équations de prédiction de la digestibilité *in vivo* à partir de la DIV, de la MAT et du produit de ces deux grandeurs sont données pour des fourrages tropicaux en particulier de Guadeloupe. De grands tableaux de valeurs alimentaires probabilisés en unités du système français (UF & PDI) ont pu être constitués à partir de ces équations de prédiction et des modèles linéaires généralisés.

Des méthodes de calcul de proximité ont permis de classer les fourrages sur de nombreuses valeurs alimentaires. Des méthodes ont ensuite été développées pour estimer la puissance de ces classifications. Des règles d'appartenance aux classes ont été élaborées. La distribution empirique de l'efficacité de ces règles a pu être déterminée. Ce système basé sur des agrégats permet de synthétiser l'information contenue dans le système classique tout en conservant son caractère nuancé pour les valeurs azotées.

Ces résultats ont été consignés dans les "Tables des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991). Des journées de présentation et de formation à l'utilisation de ces tables ont été organisées en 1991 et 1992 en Martinique et en Guadeloupe sous l'égide de l'Association Scientifique pour le développement des Productions Animales aux Antilles et en Guyane.

## SOMMAIRE

### 1 - INTRODUCTION

- 1.1 - Le système INRA des recommandations alimentaires (INRA 1978)
- 1.2 - La hiérarchie des fourrages tropicaux dans les système français
- 1.3 - L'adaptation du système français aux réalités tropicales

### 2 - LES OBJECTIFS DE L'ETUDE

### 3 - LES DONNEES

- 3.1 - Banques de données "digestibilité"
- 3.2 - Banque de données "composition chimique et DIV"

### 4 - PREVISION DE LA DIGESTIBILITE *IN VIVO*

- 4.1 - Aspects méthodologiques
  - 4.1.1 - Les mesures de la digestibilité
  - 4.1.2 - Les méthodes de prédiction
  - 4.1.3 - Précision des mesures et inter-relations entre DIV et Cell
- 4.2 - Prédiction de la digest. *in vivo* des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe
- 4.3 - Prédiction de la digest. *in vivo* de fourrages tropicaux originaires d'Afrique

### 5 - VALEURS ALIMENTAIRES DES FOURRAGES TROPICAUX DE LA CARAIBE

- 5.1 - Méthodes
- 5.2 - Importance des différents facteurs de variation

### 5 - CLASSIFICATION DES FOURRAGES SUR LEURS VALEURS ALIMENTAIRES

- 5.1 - Méthodes
- 5.2 - Classification
- 5.3 - Règles de prédiction pour l'appartenance des fourrages à leur classe
- 5.4 - Intérêt et limites du système basé sur des agrégats

### 6 - DIFFUSION RAPPROCHEE DES DONNES

### CONCLUSIONS

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### ANNEXE 1: TABLEAUX DE RESULTATS

### ANNEXE 2: DECLARATION D'INTENTION ET ANALYSE BUDGETAIRE

VARIABLE	unité	SIGNIFICATION
MS		Matière sèche
MS <sub>h</sub>	%	Teneur en matière sèche de l'herbe
MO	g/kg MS	Matière organique
MM	g/kg MS	Matières minérales
MAT	g/kg MS	Matières azotées totales (N*6.25)
NDF	g/kg MS	Neutral detergent fiber
ADF	g/kg MS	Acid detergent fiber
CB	g/kg MS	Cellulose brute
CBO	g/kg MO	Cellulose brute de la matière organique
MAO	g/kg MO	Matières azotées totales de la matière organique
MOD	g/kg MS	Matière organique digestible
MOF	g/kg MS	Matière organique fermentescible
Lip	g/kg MS	Lipides totaux
EB	MJ/kg MS	Energie brute
ED	MJ/kg MS	Energie digestible
EM	MJ/kg MS	Energie métabolisable
ENL	MJ/kg MS	Energie nette pour la production de lait
ENV	MJ/kg MS	Energie nette pour la croissance
UFL	/kg MS	Unité fourragère lait
UFV	/kg MS	Unité fourragère viande
DIV	%	Digestibilité <i>in vitro</i> (Tilley & Terry, 1963)
CUDMS	%	Coefficient d'utilisation digestive de la matière sèche
CUDMO	%	Coefficient d'utilisation digestive de la matière organique
dE	%	Digestibilité de l'énergie brute
Q	%	Rendement de l'ED en EM
Φ	%	Rendement de l'EB en EM
km	%	Rendement de l'EM en EN pour l'entretien
kl	%	Rendement de l'EM en EN pour la production de lait
kmf	%	Rendement de l'EM en EN pour l'entretien et la croissance
kf	%	Rendement de l'EM en EN pour la croissance
QIm	g/kg p <sup>0.75</sup>	Quantités de MS ingérées par un mouton
QIb	g/kg p <sup>0.75</sup>	Quantités de MS ingérées par un bovin
QIvl	g/kg p <sup>0.75</sup>	Quantités de MS ingérées par une vache laitière
UEM	/kg MS	Unité d'encombrement mouton
UEB	/kg MS	Unité d'encombrement bovin
UEL	/kg MS	Unité d'encombrement lait
DER <sub>m</sub>	UFV/UE	Densité énergétique de la ration pour mouton
DER <sub>b</sub>	UFV/UE	Densité énergétique de la ration pour bovin
DT	%	Dégradabilité théorique de l'azote
PDIA	g/kg MS	Protéines d'origine alimentaire digestibles dans l'intestin
PDIMN	g/kg MS	Protéines d'origine microbienne permises par l'azote et digestibles dans l'intestin
PDIME	g/kg MS	Protéines d'origine microbienne permises par l'énergie et digestibles dans l'intestin
PDIN	g/kg MS	Protéines permises par l'azote et digestibles dans l'intestin
PDIE	g/kg MS	Protéines permises par l'énergie et digestibles dans l'intestin

Tableau 1: Sigles, unités et signification des variables utilisées

<p align="center"><b>MODELISATION DES VALEURS ALIMENTAIRES DES FOURRAGES TROPICAUX : UNE NOUVELLE HIERARCHISATION POUR DE NOUVELLES RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES</b></p>
--

Le financement de cette étude a été permis par une aide de la CORDET (projet 91 D 144). Ce travail avait pour but d'élaborer une méthode de hiérarchisation des fourrages tropicaux sur leurs valeurs alimentaires. Cet objectif nécessitait une phase de modélisation qui a constitué la majeure partie de ce travail. En outre, une contribution a pu être apportée à l'harmonisation des méthodes d'estimation de la digestibilité des fourrages tropicaux. Enfin, une réelle collaboration entre les laboratoires d'analyse des aliments de la Station de Recherches Zootechniques (SRZ) et celui de l'IEMVT de Maison Alfort est apparue.

Dans un premier temps, le cadre de l'étude sera précisé. Puis, les principes des méthodologies seront présentés. Enfin une présentation synoptique des résultats sera faite. Les nombreux tableaux ayant été générés au cours de ce travail sont donnés pour une partie en annexe. En outre, cette étude a permis et permettra la réalisation de plusieurs publications qui complètent ce rapport (Aumont *et al.*, 1991, 1993a,b). Une part importante des résultats pourra y être retrouvée. Des précisions peuvent être obtenues auprès des auteurs pour les résultats dont ne font pas état les publications actuelles. Le monde de l'alimentation animale utilise un jargon parfois difficile à maîtriser. c'est pourquoi, les sigles et unités des variables utilisées sont donnés dans les tableaux 1 & 2.

## 1 - INTRODUCTION

Dans la recherche agronomique en pays tempérés, l'alimentation des ruminants est comprise comme une discipline dont l'objet est de connaître les fonctions d'alimentation des animaux domestiques et de déterminer les moyens de satisfaire leur besoins pour un objectif de production déterminé. Cette vision qui privilégie la satisfaction des besoins de l'animal, a engendré des concepts que tous les agents de la production animale (éleveurs, techniciens, fabricants d'aliments, enseignants, étudiants) manipulent de façon non explicite. La recherche avait pour but de générer de l'information qui devait rendre concrets et utilisables ces concepts : valeur des aliments, besoins des animaux, notions d'énergie, d'azote et d'encombrement, unités alimentaires, et recommandations alimentaires. L'inadéquation d'une partie de ces concepts aux situations des pays tropicaux a rendu impossible leur adaptation par la recherche tropicale. En outre, depuis peu, l'importance de la valorisation des ressources locales sans adjonction massive d'intrants devient une préoccupation des décideurs du monde rural. Cette démarche nécessite une approche privilégiant une vision globale de l'alimentation qui replace l'animal et son système d'alimentation dans le système de production plutôt que la recherche systématique de l'optimisation de la fonction marginale de nutrition de l'animal.

*L'objectif de ce projet était donc de repenser en partie la hiérarchie des fourrages tropicaux sur la base de leurs valeurs alimentaires en proposant des classifications qui permettent des recommandations alimentaires facilement utilisables dans le milieu agricole.*

### **1.1 - Le système INRA des recommandations alimentaires (INRA 1978)**

En France, la valeur alimentaire d'un fourrage est assimilée à un vecteur dans un espace à 5 dimensions : l'ingestibilité assimilée à l'encombrement, la valeur en énergie nette pour l'entretien et la production laitière (UFL), la valeur en énergie nette pour la croissance (UFV), la valeur en Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI) permises par l'azote pour les fermentations microbiennes (PDIN), la valeur en PDI permises par l'énergie pour les fermentations microbiennes (PDIE). Les minéraux et les oligoéléments ne sont pas inclus proprement dits dans le système.

Les besoins de l'animal pour une production sont assimilés à un vecteur dans un espace à 3 dimensions : les besoins en énergie nette, les besoins en PDI, la capacité d'ingestion en unité d'encombrement.

Ce système a été établi pour des valeurs alimentaires moyennes à élevées des fourrages, pour des animaux d'un format moyen à grand et pour des objectifs de production peu fréquents dans le monde tropical. Les correspondances entre les deux espaces sont établies par des règles complexes qui ont été informatisées dans le logiciel INRATION. En France, ce système très précis est autovalidé par l'information qui retourne à l'INRA de la part de l'ensemble des acteurs en alimentation animale. Cet aspect permet de parer aux contraintes du système pour les aliments qui ne peuvent s'intégrer dans les schémas de calculs par régression.

Les dernières données sur ce système ont été publiées par l'INRA (1988, 1989, 1990). Ces publications ainsi que leurs versions simplifiées par les instituts techniques (ITEB, ITOVIC) servent de référence à l'ensemble des techniciens, des enseignants et des professionnels qui pratiquent l'alimentation animale. Elles représentent "des bibles" de l'alimentation des ruminants. Le problème de l'adaptation au monde agricole a été pour une grande part résolu par la formation de la pensée des acteurs de la production animale au système. Le problème de la complexité ne s'est donc pas véritablement posé comme contrainte majeure de diffusion.

### **1.2 - La hiérarchie des fourrages tropicaux dans les système français**

Depuis 20 ans, la recherche française tropicale (INRA-SRZ, IEMVT) a essayé d'adapter ce système aux caractéristiques du milieu tropical, c.a.d., d'une part, pour des

VARIABLE	unité	SIGNIFICATION
CUDMO	%	Digestibilité <i>in vivo</i> de la matière organique (MO)
DIV	%	Digestibilité <i>in vitro</i> déterminée à la SRZ
DIVi	%	Digestibilité <i>in vitro</i> de l'ingéré calculée par la dMO et la DIV
Cel-ie	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase déterminée à l'IEMVT
	%	Maison Alfort exprimée par rapport à la MS
Cel-ie <sub>i</sub>	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase de l'ingéré calculé par la dMO et Cel-ie
Cel-io	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase déterminée à l'IEMVT
	%	Maison Alfort exprimée par rapport à la MO
Cel-io <sub>i</sub>	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase de l'ingéré calculé par la dMO et Cel-io
Cel-srz	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase déterminée à la SRZ exprimée par rapport à la MS
Cel-srz <sub>i</sub>	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase de l'ingéré calculé par la dMO et Cel-srz
Cel-th	%	Dégradabilité Pepsine-Cellulase déterminée au centre Clermont - Ferrand Theix (INRA) par rapport à la MS
MAT	%	Matières azotées totales déterminées à l'IEMVT Maison alfort
MAT <sub>i</sub>	%	Matières azotées totales de l'ingéré calculé par la dMO et la MAT
MatCeli	0/000	produit MAT par cel-ie
MatCeli <sub>i</sub>	0/000	produit MAT par cel-ie <sub>i</sub>
MatCelsrz	0/000	produit MAT par cel-srz
MatCelsrz <sub>i</sub>	0/000	produit MAT par cel-srz <sub>i</sub>
MatCelio	0/000	produit MAT par cel-io
MatCelio <sub>i</sub>	0/000	produit MAT par cel-io <sub>i</sub>
MatDiv	0/000	produit MAT par DIV
MatDiv <sub>i</sub>	0/000	produit MAT par DIV <sub>i</sub>

**Tableau 2:** Sigles, unités et signification des variables utilisées pour la prévision du CUDMO par la digestibilité *in vitro* pepsine-cellulase ou la Digestibilité *in vitro* Tilley & Terry (1963).

1- $\alpha$	Energie (UFV)		Azote (PDI)		UFV et PDI 1- $\alpha$ (%)
	I <sup>-</sup>	I <sup>+</sup>	I <sup>-</sup>	I <sup>+</sup>	
97.5 %	0.606	0.755	60.07	74.93	95.1
90.7 %	0.630	0.735	62.50	72.50	81.4
74.5 %	0.658	0.705	65.00	70.00	55.5

**Tableau 3:** Bornes des intervalles de confiances des valeurs alimentaires et fréquence des bons classements dans ces intervalles pour les risques correspondants (hypothèses : UFV:  $0.680 \pm 0.038$  UFV/kg MS ; PDI:  $67.50 \pm 3.79$  g/kg MS)



animaux de petit format et de performances faibles à moyennes, et d'autre part, pour des fourrages très pauvres en énergie et en azote (Minson & McLeod, 1970). Le principe de cette adaptation est qu'en milieu tropical, la digestibilité de l'énergie est nettement plus faible qu'en milieu tempéré mais que les autres rendements qui permettent de passer de l'énergie digestible à l'énergie nette sont prévisibles de façon identique à celles des fourrages de bonnes valeurs alimentaires. Les mesures ont donc porté sur la détermination de la digestibilité de la Matière Organique et de ses principaux facteurs de variations ainsi que sur les quantités ingérées à l'auge.

La digestibilité *in vivo* a été déterminée sur des fourrages verts simultanément à l'ingestion selon la méthode utilisée en France (Demarquilly & Jarrige, 1964) et dans tous les pays francophones (DOM, Afrique). Celles préconisées par McLeod & Minson (1967, 1971, 1974) en Australie sont différentes car elles sont basées sur une mesure séparée de l'ingestion et de la digestibilité, mesures effectuées sur des fourrages préalablement deshydratés. Les méthodes de prévision de la digestibilité *in vivo* de la MO des fourrages utilisent des critères agronomiques, la composition chimique et/ou la digestibilité *in vitro* (DIV : Tilley & Terry, 1963) et la dégradabilité enzymatique ou digestibilité pepsine cellulase (Aufrère, 1982 ; Sauvant *et al.*, 1987).

Dans le monde francophone, cette démarche d'harmonisation a conduit les chercheurs des pays tropicaux à publier leurs données dans des ouvrages essentiellement consacrés à la situation des pays tempérés (INRA, 1978, 1988, 1989). Des tables de valeurs alimentaires des fourrages en milieu tropical humide basées sur les seules mesures de digestibilité *in vivo* ont été publiées dans une version bilingue (français/espagnol) par Xandé & Trujillo (1985).

### 1.3 - L'adaptation du système français aux réalités tropicales

La SRZ a entrepris la constitution d'une banque de données sur les mesures individuelles de la digestibilité des fourrages tropicaux englobant l'ensemble de ses travaux depuis 1977. La modélisation de ces données a permis de montrer que la variabilité de la mesure de la digestibilité de la MO *in vivo* (dMO) est de 2.87 % pour une gamme de variation (90 % des individus) de 45 à 60 % (Aumont *et al.*, non publié). Cette variabilité est légèrement supérieure à celle enregistrée en France mais pour une gamme de variation de 45 à 75 %. Des méthodes de simulation de cette variabilité dans la chaîne des calculs qui mène de la composition chimique et de l'estimation de la digestibilité de la MO, aux valeurs alimentaires ont montré que les estimations des valeurs UFL/UFV et PDIE/PDIN étaient entachées d'une erreur importante (Aumont *et al.*, 1993). La prévision simultanée de la valeur énergétique et azotée, nécessaire pour le rationnement, n'est alors possible qu'avec un intervalle de confiance très large dans l'espace à 2 dimensions "énergie-azote" (tableau 3). Ce phénomène diminue la fiabilité de la prévision de la production animale permise et la hiérarchisation des fourrages. La multiplication des déterminations de la digestibilité *in vivo* ou de sa prévision pour un même type de fourrage peut permettre de palier en partie cette dispersion.

Nature	fréquence	Age repousse	fréquence
<i>Digitaria decumbens</i> (tranvala)	47	< = 28 j	96
<i>Brachiaria decumbens</i>	61	28-35 j	17
<i>Digitaria swazilandensis</i>	65	35-42 j	76
<i>Hemarthria altissima</i>	6	42-49 j	10
<i>Sorghum bicolor</i>	29	49-66 j	110
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	27	66-77 j	28
<i>Digitaria decumbens</i>	40	77 > j	7
<i>Panicum maximum</i>	79		
Total	354		354

**Tableau 4:** Structure de la base de données (BD1) de mesures de la digestibilité *in vivo* de fourrages tropicaux de Guadeloupe (fréquences du nombre d'expérimentation ou mesures moyennes).

Nature	Type	fréquence	Origine	fréquence
<i>Panicum maximum</i>	offert	15	Bouaké Cote d'Ivoire	79
<i>Panicum maximum</i>	mélange	15	Dakkar Sénégal	49
<i>Panicum maximum</i>	mélange refus	22		
<i>Panicum maximum</i>	foin offert	11		
<i>Panicum maximum</i>	foin refus	7		
<i>Panicum maximum</i>	refus	9		
<i>Brachiaria brizantha</i>	mélange	31		
<i>Brachiaria mutica</i>	offert	4		
<i>Brachiaria mutica</i>	mélange offert	5		
<i>Brachiaria mutica</i>	refus	4		
<i>Brachiaria mutica</i>	foin refus	4		
Mélange de savane		1		

**Tableau 5 :** Structure de la base de données (BD2) de l'IEMVT ayant permis de déterminer les relations entre digestibilité *in vitro* pepsine-cellulase, Digestibilité *in vitro* Tilley & Terry (1963) et mesures de digestibilité *in vivo*. Cette base de données contient 66 mesures moyennes de digestibilité *in vivo*.

Les tables de valeurs alimentaires des fourrages tropicaux publiées jusqu'alors ont été constituées en l'absence de modèles permettant de diminuer la variabilité due à des facteurs de variations parasites, et sur des échantillonnages faibles. La petite taille des échantillonnages, la relative importance de la variabilité de la méthode de mesure de la digestibilité et/ou de sa prévision au regard de la faible variabilité des fourrages tropicaux, nécessite une révision des tables de leurs valeurs alimentaires.

A ce constat statistique s'ajoute une difficulté de compréhension du système français qui est complexe. En outre les éleveurs pratiquent l'alimentation via le pâturage (90 % des surfaces toujours en herbe de la Guadeloupe et de la Martinique). Ces trois réalités (forte variabilité et faiblesse des prévisions, inadaptation à la réalité agricole et complexité) ont induit des effets pervers qui se traduisaient par une remise en cause de la justesse et de l'exactitude des données fournies par l'INRA.

## 2 - LES OBJECTIFS DE L'ETUDE

Pour palier à ces trois problèmes que pose le système français en milieu tropical, **il est apparu que la priorité devait être donnée à la hiérarchisation des valeurs alimentaires plutôt qu'à une recherche d'exactitude** qui nécessite la mise en place de contrôles de performances à long terme qui n'existent pas aux Antilles, ni dans les élevages, ni dans les stations expérimentales. En effet, la recherche se devait de donner des outils de décision aux éleveurs et aux techniciens qui leur permettent de gérer l'alimentation. Cependant, l'INRA, à l'aide des résultats de ce projet, mettra en place des études permettant de valider par des mesures de performances animales les hiérarchies obtenues sur les valeurs alimentaires des fourrages tropicaux. Nous avons privilégié les notions d'énergie et d'azote car l'ingestion des animaux au pâturage relève de méthodes spécifiques très lourdes à mettre en oeuvre.

Les objectifs de cette étude étaient les suivants :

- 1 - Elaboration de nouvelles équations de prédiction de la digestibilité *in vivo* à partir de critères chimiques, biochimiques et agronomiques.
- 2 - Constitution d'une banque de données réunissant composition chimique et données agronomiques de fourrages tropicaux de l'ensemble de la zone caraïbéenne et de quelques données de la Réunion
- 3 - Tabulation des valeurs alimentaires et de leur dispersion pour des facteurs statistiquement justifiés.
- 4 - Mise en oeuvre de méthodes d'agrégation sur des proximités multidimensionnelles pour constituer des classes de fourrages qui permettent de synthétiser l'information contenue dans la nouvelle hiérarchisation.
- 5 - Proposer des produits de communications facilement diffusables dans le milieu agricole des DOM.

Fourrages	fréquence	âge	fréquence	origine	fréquence
<i>Brachiaria decumbens</i>	109	< =28 j	529	Cuba	312
<i>Brachiaria humidicola</i>	36	28-35 j	135	Dominique	187
<i>Brachiaria mutica</i>	18	35-42 j	104	Guadeloupe	217
<i>Cenchrus ciliae</i>	95	42-49 j	135	Guyane	19
<i>Chloris gayana</i>	70	49-66 j	171	Martinique	541
<i>Cynodon nlemfluensis</i>	106	66-77 j	87	Réunion	37
<i>Cynodon dactylon</i>	31	> 77 j	21		
<i>Digitaria decumbens</i>	121				
<i>Digitaria swasilandensis</i>	29				
<i>Digitaria transvala</i>	36				
<i>Hemarthria altissima</i>	21				
<i>Panicum maximum</i>	186				
<i>Paspalidium germinatum</i>	5				
<i>Paspalum plicatulum</i>	25				
<i>Setaria sphacelata</i>	12				
<i>Pennisetum clandestinum</i>	3				
<i>Pennisetum purpureum</i>	155				
<i>Sorghum bicolor</i>	32				
<i>Desmodium intortum</i>	1				
<i>Desmodium ovalifolium</i>	13				
<i>Glycina javanica</i>	2				
<i>Stylosanthes gyanensis</i>	21				
<i>P. purpureum*typhoides</i>	55				

**Tableau 6:** Structure de la base de données (BD3) de composition chimique et de DIV (Tilley & Terry, 1963) de fourrages tropicaux de la Zone caraïbe et de la Réunion, utilisée pour les calculs d'agrégation sur les valeurs alimentaires.

### 3 - LES DONNEES

#### 3.1 - Banques de données digestibilité

Deux fichiers ont été constitués (BD1). Le premier fichier était basé sur 1865 données individuelles de digestibilité *in vivo* mesurées au domaine INRA de Duclos (Guadeloupe) qui ont permis d'obtenir 354 mesures moyennes. Les fourrages proposés étaient caractérisés par la composition chimique (MSh, MO, MM, ADF, NDF, MAT, DIV). Tous ces fourrages ont été cultivés dans de bonnes conditions (fertilisation azotée de 0.5 à 1 unité par ha et par jour de repousse, bon approvisionnement en eau même en saison "sèche"). La structure des données est précisée dans le tableau 4. Le second fichier était constitué de 65 mesures moyennes de digestibilité déterminées en Afrique par les services de l'IEMVT (Tableau 5, BD2).

#### 3.2 - Banque de données composition chimique et DIV

La banque de données sur les compositions chimiques (MO, MM, ADF, NDF, MAT) et sur la DIV (BD3) a été constituée par compilation de toutes les analyses effectuées au laboratoire des aliments de la SRZ, pour lesquelles étaient connus la nature du fourrage (genre, espèce et/ou cultivar), la fertilisation, la saison et le pays d'origine. Les caractéristiques de la banque de donnée BD3 sont données dans le tableau 6. Ces fourrages concernent une aire géographique qui va de la Guyane à Cuba (partie tropicale). Des données de la Réunion ont été incluses quand elles étaient spécifiquement tropicales (altitude faible).

### 4 - PREVISION DE LA DIGESTIBILITE *IN VIVO*

#### 4.1 - Aspects méthodologiques

##### 4.1.1 - Les mesures de la digestibilité

Les mesures de digestibilité apparente *in vivo* de la matière sèche (CUDMS) et de la matière organique (CUDMO) ont été déterminées selon la méthode de Demarquilly & Jarrige (1964). Cette méthode consiste à déterminer le rapport digéré/ingéré selon la formule (F1) sur des lots de 4 à 6 béliers castrés nourris uniquement à l'herbe proposée en vert dans des quantités qui permettent des refus de 10 à 20 % du proposé.

$\text{CUDa} = \frac{\text{quantités ingérées} - \text{quantités excrétées}}{\text{quantités ingérées}} \quad (\text{F1})$
--

ITEM	ecart type résiduel	moyenne observée	CV (%)	n
MO (g/kg MS)	4.7	917.7	0.5	132
MAT (g/kg MS)	5.3	77.5	6.8	129
ADF (g/kg MS)	11.7	401.9	2.9	128
NDF (g/kg MS)	25.5	725.3	3.5	63
DIV (%)	2.87	49.34	5.8	132
DIV en triple intra série	2.73	49.34	5.5	44

**Tableau 7 :** Ecart type, moyenne et coefficient de variation résiduel des résultats de composition chimique des standards du laboratoire d'analyse des aliments de la Station de Recherches Zootechniques (INRA, Guadeloupe) de 1986 à 1989.

ITEM correction	n	MOY aucune	SD	MOY expé	SD	MOY * expé *	SD	MOY mouton	SD
CUD-MS (%)	1889	59.17	6.92	59.24	3.03	59.06	2.63	58.92	6.85
CUD-MO (%)	1881	61.38	6.96	61.34	2.93	61.58	2.47	61.24	6.93
CUD-MA (%)	1717	62.22	12.91	61.87	4.65	62.99	2.99	61.11	12.77
CUD-ADF (%)	783	55.42	10.83	55.56	3.39	55.75	2.87	55.61	10.81
QI (g/kg p <sup>0.75</sup> )	1891	52.59	13.61	52.82	8.46	52.19	7.52	51.95	11.79

**Tableau 8:** Moyenne et Ecart type des CUD et QI mesurés à la Station de Recherches Zootechniques (INRA) en Guadeloupe entre 1974 et 1986 ; correction pour chaque expérience et correction pour les moutons utilisés.

\* Après élimination des individus dont le résidu d'un modèle linéaire généralisé comprenant le facteur expérience était significativement différent de zéro au risque de 5 %

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	rCV (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
Cel-srz	12	0.990	1.300	2.089	cel-th	0.989	0.031	0.77	1.99
Cel-srz	12	1.000	1.249	2.007	cel-th	1.000	0.006		
Cel-srz	126	0.637	4.294	9.409	cel-ie	0.665	0.045	9.46	2.47
Cel-srz	126	0.991	4.521	9.907	cel-ie	0.835	0.007		
DIV	126	0.401	7.009	11.91	cel-ie	0.669	0.073	22.48	4.03
DIV	126	0.983	7.802	13.25	cel-ie	1.072	0.013		
DIV	128	0.519	6.292	10.72	Cel-srz	0.919	0.079	16.87	3.62
DIV	128	0.987	6.782	11.55	Cel-srz	1.280	0.013		

**Tableau 9:** Relations entre la Digestibilité *In Vitro* (DIV), la dégradabilité cellulasique de Theix (Cel-th), la dégradabilité cellulasique de la SRZ (cel-srz) et la dégradabilité cellulasique de Maison Alfort (Cel-ie pour la MS et cel-io pour la MO) pour des échantillons de fourrages africains.

Les individus pour lesquels les résidus étaient hors des 90 % de la normalité ont été éliminés

La connaissance de la composition chimique des refus et du proposé ainsi que du taux de refus (R) permet de calculer la composition chimique réelle de l'ingéré selon la formule F2.

$$\text{DIV}_i = \frac{\text{DIV} - \text{DIV}_r \cdot R}{1 - R} \quad (\text{F2})$$

La digestibilité *in vitro* (DIV) a été mesurée à la SRZ selon la méthode de Tilley & Terry (1963). La méthode de dégradabilité enzymatique (Sauvant *et al.*, 1987) ou digestion pepsique cellulase (Cell) a été effectuée au laboratoire de l'IEMVT de Maison-Alfort et à la SRZ. Les principes de ces deux méthodes sont similaires. Ils consistent à reproduire *in vitro* des phénomènes digestifs. Dans la méthode DIV, c'est un inoculum de jus de rumen qui est utilisé pour simuler la dégradation rumenale. Dans la méthode Cell, une enzyme purifiée de *Trichoderma viride* est utilisée pour la phase cellulolytique.

#### 4.1.2 - Les méthodes de prédiction

La prédiction des CUD *in vivo* par des compositions chimiques ou des digestibilités *in vitro* est basée sur des méthodes de régression linéaires (F3).

$$\text{CUD} = \alpha_i Y_i + I + e \quad (\text{F3})$$

où

$\alpha_i$  sont les estimées des modèles

e est l'erreur résiduelle. Elle permet de calculer l'écart type résiduel ( $\sigma$ ).

I est l'ordonnée à l'origine ou Intercept

L'intégration de nouvelles variable  $Y_i$  dans les modèles est faite selon l'algorithme de Furnival et Wilson (1974) qui maximise le  $r^2$  en testant la meilleure des combinaisons possibles dans l'ensemble des variables qui sont proposées. Les variables proposées pour les régressions comprenaient à la fois la variable simple et des combinaisons géométriques comme un exemple en est donné ci-dessous :

**Variables entrées dans le modèle avant la selection pour la prévision de la digestibilité:**

DIV DIV<sup>2</sup>  $\sqrt{\text{DIV}}$  LnDIV

ADF ADF<sup>2</sup>  $\sqrt{\text{ADF}}$  LnADF

MAT MAT<sup>2</sup>  $\sqrt{\text{MAT}}$  LnMAT

MAT\*DIV MAT\*DIV<sup>2</sup>  $\sqrt{\text{MAT*DIV}}$  LnMAT\*DIV

ADF/DIV ADF/DIV<sup>2</sup>  $\sqrt{\text{ADF/DIV}}$  LnADF/DIV

MAT/ADF MAT/ADF<sup>2</sup>  $\sqrt{\text{MAT/ADF}}$  LnMAT/ADF

pred. variable (% MO)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	rCV (%)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	Intercept est (% MS)	$\sigma$ (% MS)
CUDMO	353	0.917	0.180	2.932	CUDMS	0.973	0.016	3.91	0.92
CUDMO	330	0.960	1.232	2.004	CUDMS	0.977	0.011	3.58	0.65
CUDMO	354	0.999	1.840	3.001	CUDMS	1.038	0.002		
CUDMO	332	1.000	1.287	2.096	CUDMS	1.037	0.001		

**Tableau 10:** Equations de prédiction du CUDMO par le CUDMS de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

pred. variable (% MS)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	Intercept est (% MS)	$\sigma$ (% MS)
CUDMS	275	0.397	4.851	DIV	0.546	0.041	28.21	2.30
CUDMS	264	0.463	4.262	DIV	0.555	0.037	27.82	2.09
CUDMS	255	0.512	4.048	DIV	0.625	0.038	23.79	2.18
CUDMS	244	0.493	3.806	DIV	0.575	0.037	26.83	2.13
CUDMS	276	0.990	6.021	DIV	1.039	0.006		
CUDMS	262	0.993	5.007	DIV	1.039	0.005		
CUDMS	248	0.993	5.007	DIV	1.039	0.005		

**Tableau 11:** Equations de prédiction du CUDMS par la Digestibilité *in vitro* (DIV) de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

pred. variable (% M0)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	Intercept est (% MS)	$\sigma$ (% M0)
CUDMO	275	0.392	4.979	DIV	0.555	0.042	29.91	2.37
CUDMO	259	0.461	4.347	DIV	0.564	0.038	29.53	2.16
CUDMO	241	0.509	3.888	DIV	0.608	0.039	27.08	2.21
CUDMO	276	0.990	6.021	DIV	1.039	0.006		
CUDMO	262	0.993	5.007	DIV	1.039	0.005		
CUDMO	248	0.993	5.007	DIV	1.039	0.005		

**Tableau 12:** Equations de prédiction du CUDMO par la Digestibilité *in vitro* (DIV) de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.



Les résidus ont été "studentisés" et les éléments pour lesquels ils étaient significativement différents de zéro ont été éliminés. Puis, l'influence de chacun des éléments a été estimée selon le principe du Jackknife (recalcul des régressions en éliminant le point concerné) par une statistique, *dffits*, dont la distribution asymptotique est connue (Belsey *et al.*, 1980, F4).

$$Dffits = (y_i - y(i))/(s(i)*\sqrt{h(i)}) \quad (F4)$$

$y_i$  : estimé du  $i^{\text{ème}}$  individu

$y(i)$  : estimé du  $i^{\text{ème}}$  résidu quand celui ci n'intervient pas dans l'estimation des paramètres de la régression

$s(i)$  : écart type des résidus sans la  $i^{\text{ème}}$  observation

$h_i$  : la valeur de la  $i^{\text{ème}}$  diagonale de la matrice projetée de l'espace des prédicteurs (la matrice chapeau) ;  $h(i)$  :  $h_i$  sans l'individu  $i$ .

$$\begin{aligned} h_i &= x_i'(X'X)^{-1}x_i' \\ h(i) &= h_i \text{ sans l'individu } i \end{aligned} \quad (F5)$$

L'élimination d'un individu se fait en comparant *Dffits* à  $2\sqrt{(p/n)}$ .

Quand cela semblait nécessaire, pour chacune des étapes de calcul des régressions, les modèles ont été forcés de façon à imposer une valeur nulle pour l'ordonnée à l'origine (intercept non significatif, signification des estimées, etc...).

#### 4.1.3 - Précision des mesures et inter-relations entre DIV et Cell

L'analyse des standards internes du laboratoire des aliments de la SRZ a montré une bonne précision (exprimée en écart type résiduel) des analyses chimiques et une reproductibilité de  $\sigma = 2.73 \%$  pour la DIV (tableau 7). L'analyse de la variabilité intra-expérience sur BD1 a montré que la précision (exprimée en écart type résiduel) de la mesure de la digestibilité *in vivo* est de l'ordre de 3 points (tableau 8). La distribution intra-expérience des données de digestibilité *in vivo* s'est avérée pratiquement uniforme. Ceci nous a interdit d'éliminer des valeurs individuelles qui semblaient aberrantes à des expérimentateurs. Cette pratique est courante dans de nombreux laboratoires mais n'est que rarement indiquée dans les publications. Elle est en outre largement liée à l'expérimentateur. Quand une élimination des données est pratiquée sur la base de résidus studentisés significativement différents de zéro dans un modèle linéaire généralisé, la variabilité du CUDMS exprimée en écart type passe de 3.03 à 2.54 % (tableau 8).

Cependant, la mesure du CUD *in vivo* de la MS ou de la MO est relativement précise. Le coefficient de variation est de 4.7 % pour un CUDMO moyen de 61.3 % mais

Pred. Variable (% MS)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MS)	var 2 est	SD (% MS)	Intercept est (% MS)	SD (% MS)
CUDMS	274	0.416	4.764	DIV	0.490	0.043	MAT	0.304	0.093	28.10	2.27
CUDMS	264	0.484	4.220	DIV	0.509	0.040	MAT	0.300	0.085	27.07	2.09
CUDMS	245	0.532	3.793	DIV	0.543	0.039	MAT	0.280	0.082	25.25	2.07
CUDMS	241	0.547	3.731	DIV	0.555	0.039	MAT	0.277	0.081	24.63	2.07
CUDMS	275	0.990	5.945	DIV	0.973	0.022	MAT	0.349	0.116		
CUDMS	259	0.993	4.852	DIV	0.983	0.019	MAT	0.290	0.098		
CUDMS	247	0.995	4.412	DIV	0.974	0.079	MAT	0.311	0.092		

**Tableau 13:** Equations de prédiction du CUDMS par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MS) de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (% MS)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MS)	var 2 est	SD (% MS)	libel (% MS <sup>2</sup> )	var 3 est	SD (% MS <sup>2</sup> )	Intercept est (% MS)	SD (% MS)
CUDMS	274	0.424	4.738	DIV	0.755	0.141	MAT	1.707	0.716	MATDIV	-0.0252	0.0128	13.60	7.67
CUDMS	265	0.485	4.228	DIV	0.751	0.129	MAT	1.739	0.657	MATDIV	-0.0251	0.0117	13.38	7.07
CUDMS	258	0.473	4.265	DIV	0.739	0.131	MAT	1.681	0.665	MATDIV	-0.0243	0.0118	14.25	7.19
CUDMS	238	0.568	3.641	DIV	0.855	0.137	MAT	1.727	0.671	MATDIV	-0.0258	0.0122	7.89	7.63
CUDMS	275	0.994	4.757	DIV	1.003	0.018	MAT	2.912	0.226	MATDIV	-0.0469	0.0038		
CUDMS	264	0.995	4.233	DIV	0.988	0.017	MAT	2.863	0.202	MATDIV	-0.0448	0.0064		
CUDMS	256	0.996	3.981	DIV	0.972	0.016	MAT	2.743	0.199	MATDIV	-0.0414	0.0033		
CUDMS	239	0.996	3.657	DIV	0.986	0.016	MAT	2.428	0.208	MATDIV	-0.0374	0.0033		

**Tableau 14:** Equations de prédiction du CUDMS par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MS) de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

la plage de variation des CUD est faible (tableau 8,  $\sigma < 7.0 \%$ ). La variabilité des quantités ingérées est encore plus élevée ( $\sigma_r = 8.5 \%$ ) mais la plage de variation est plus élevée ( $\sigma < 13 \%$ ). Ces résultats ont déterminé la démarche générale de cette étude vers une amélioration de la fiabilité de la prédiction et non dans le sens d'une recherche d'une plus grande sensibilité.

Les comparaisons entre les déterminations de Cell faites d'une part à l'IEMVT et d'autre part à la SRZ montrent une variabilité intra-expérience (exprimée en écart type résiduel) de l'ordre de  $\sigma = 4.5$  points (tableau 9). Toutefois, la comparaison avec des résultats de Cell obtenus sur des échantillons du centre INRA de Clermont-Ferrand Theix (France) montre une très bonne relation entre les dosages effectués à la SRZ et les dosages effectués à Theix ( $\sigma < 1.3 \%$ , tableau 9).

La Cell est considérée comme la mesure la plus reproductible pour les méthodes *in vitro* (Sauvant *et al.*, 1987, Aufrère & Doreau, 1988). Toutefois, nos résultats nuancent les résultats de ces auteurs. Il reste à préciser encore plus profondément les variations intra-laboratoire de la méthode à la cellulase (Cell) quand celle-ci est appliquée aux fourrages tropicaux. La DIV est relativement bien corrélée à la Cell quelque soit le laboratoire de détermination de la Cell. Toutefois, les écart types résiduels des régressions liant ces deux valeurs sont de l'ordre de 7 à 8 % (tableau 9). Ces résultats soulignent qu'une plus grande attention doit être donnée à l'harmonisation des méthodes de prédiction de la digestibilité *in vitro* des fourrages tropicaux. *Néanmoins ils ne remettent pas en cause la nécessaire analyse conjointe des banques de données de la SRZ et de l'IEMVT.*

#### 4.2 - Prédiction de la digestibilité *in vivo* des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe

Ces analyses ont concerné la banque de données BD1. Les principales équations sont données dans les tableaux 10 à 25 (tableaux 15 à 25 en annexe 1). La prédiction du CUD de la MS permet la détermination du CUD de la MO avec une très bonne précision ( $\sigma = 1.23 \%$ , tableau 10). La DIV ne permet pas de prédire le CUD MS ni le CUD MO avec une précision inférieure à 3.8 points ( $\sigma > 3.8 \%$ , tableaux 11 & 12). Les estimées des équations de régression sont de l'ordre de 0.6 quand on accepte des ordonnées à l'origine différentes de zéro. Toutefois, si l'on force les modèles sur une ordonnée à l'origine nulle, ces pentes avoisinent l'unité, ce qui conforte l'intérêt de la DIV comme prédicteur non précis mais utilisable en tant que tel dans les équations qui intègrent la digestibilité pour le calcul des valeurs alimentaires.

Les meilleures combinaisons de variables pour la prévision de la digestibilité de la MS et de la MO semblent être la DIV, la MAT et le produit de ces deux grandeurs. (tableaux 13 & 14, annexe 1: tableaux 15 & 16). Dans ces équation, l'estimée de la DIV prend une valeur proche de 0.9. L'expression de la MAT par rapport à la MO ne permet

Part.S/ILim		(%)	n	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	a (%)	b (%)	Prob
1	I	45	3	0.424	2.25	2.645	-62.5	NS
1	S	45	247	0.478	4.03	0.614	24.5	***
2	I	50	39	0.036	3.63	0.321	38.3	NS
2	S	50	204	0.421	3.75	0.596	25.6	***
3	I	55	104	0.136	4.35	0.570	26.7	***
3	S	55	135	0.335	3.23	0.546	28.5	***
4	I	60	172	0.216	4.35	0.554	27.5	***
4	S	60	69	0.081	2.63	0.283	45.8	NS

**Tableau 24:** Effet de la partition de la base de donnée BD1 en 2 classes de DIV pour des limites de classe variant entre 45 et 60 % sur les relations entre le CUDMS et la DIV (moyenne intra expérience).

\*\*\* p < 0.001 ; NS non significatif, S/I limite Supérieure ou Inférieure

REFLim <	Lim >		n	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	a	b (%)	Prob
(%)	(%)							
1	0	3	22	0.634	3.95	0.822	16.7	***
2	3	6	92	0.451	4.89	0.650	25.9	***
3	6	9	140	0.332	4.71	0.492	35.9	***
4	9	12	219	0.278	4.62	0.398	39.1	***
5	12	15	248	0.343	4.98	0.517	21.1	***
6	15	18	198	0.325	5.67	0.530	30.8	***
7	18	21	157	0.420	5.75	0.600	26.5	***
8	21	25	113	0.298	6.36	0.592	26.3	***
9	25	30	86	0.342	6.95	0.730	19.6	***
10	30	40	71	0.163	8.04	0.442	34.4	***
11	40	-	29	0.217	8.07	0.503	31.5	*

**Tableau 25:** Effet de la partition de la base de donnée BD1 en 2 classes de niveaux de refus pour des limites de classe variant entre 2 et 40 % sur les relations entre le CUDMS et la DIV.

\*\*\* p < 0.001 ; NS non significatif, S/I limite Supérieure ou Inférieure

pas d'apporter véritablement une amélioration dans les équations de prédiction ( annexe 1: tableaux 17 à 20) .

La prédiction de l'ingestion (QI exprimée en g par kilo de poids métabolique, g/kg  $W^{0.75}$ ) fait intervenir les variables MAT, MSoff (Matière sèche de l'offert), CUDMS et l'ADF dans une moindre mesure (annexe 1: tableaux 21 à 23). L'interprétation des coefficients est possible et cohérente avec ce qui est connu par ailleurs pour les fourrages tropicaux c.a.d. : augmentation de l'ingéré quand la MAT, la teneur en MS ou la digestibilité augmente et quand la teneur en fibre diminue.

La partition du fichier en 2 classes de DIV pour des limites de classes de 45 à 60 % ou en 10 classes de niveaux de refus n'a pas permis de mettre en évidence des espaces particuliers où la relation DIV/CUDMS soit convenable (tableaux 24 & 25). Ces données suggèrent que les mauvaises relations entre *in vivo* et *in vitro* ne sont pas dues à des potentiels de digestibilité limités. De même, les niveaux de refus élevés nécessaires pour maintenir constant l'ingéré ne peuvent être tenus pour responsables des distances entre *in vivo* et *in vitro*.

Les équations retenues pour les calculs des valeurs alimentaires sont précisées dans les équations (F6 & F7)

$$QIm = (0.4170 \cdot CUDMS) + (0.8760 \cdot MSh) + (0.5509 \cdot MAT) + 2.5062 \quad (F6)$$

MSh fixée à 20 %,  $\sigma = 7.3117$ , unités et sigles: tableau 0

$$CUDMS = (0.8857 \cdot DIV) + (1.7272 \cdot MAT) - (2.58 \cdot 10^{-3} \cdot MAT \cdot DIV) + 7.8891 \quad (F7)$$

$\sigma = 3.6413$ , unités et sigles: tableau 0

La prédiction des CUD et des QI par les facteurs agronomiques comme le type de fourrage et l'âge repousse est possible (tableaux 26 à 27). Toutefois, les écart types résiduels restent beaucoup plus élevés que pour la prévision par la composition chimique. Pour information, les valeurs des estimées des CUD et des QI sont donnés pour l'âge repousse et la nature du fourrage dans les tableaux 28 à 31 (annexe 1 : tableau 31).

La prédiction de la digestibilité *in vivo* par la DIV ou par la composition chimique est relativement acceptable. Toutefois, il apparait une limite de l'écart type résiduel de 3 points qui ne peut être franchie quelque soit la méthodologie utilisée. Cette limite correspond à la précision de la mesure de la digestibilité *in vivo*. Il faut noter que la méthode d'apuration des données par le Jackknife permet de réduire notablement les écart types résiduels. En fait, c'est une méthode statistique objective qui est indépendante de l'expérience de l'opérateur à contrario de la pratique d'élimination des données dites "aberrantes". Guerin *et al.* (1989) ont rapporté des écart types équivalents pour des fourrages africains. A l'inverse, McLeod & Minson (1971, 1974), Terry & *et al.* (1978), Rees & Minson (1979) ont montré qu'il existe une bonne relation entre DIV et digestibilité *in vivo* chez des animaux nourris à 90 % de l'*ad*

Source de variation	Pourcentage de variance expliquée (%) et $\sigma$ (%)			
	DIV	MAT	ADF	NDF
Age repousse	21.98	21.63	21.45	13.89
Espèce four. (fge)	28.42	23.87	18.61	46.39
Saison	0.13	2.17	10.87	0.28
Total sans inter	50.53	47.67	50.93	60.56
Ecartype résiduel	5.32	2.66	4.63	4.24
Inter âge*fge	10.49	4.22	14.13	19.38
Ecartype résiduel	4.91	2.60	4.33	3.41

**Tableau 26:** Pourcentage de variance expliquée (%) et écart type résiduel ( $\sigma$ ) par différentes sources de variation pour les variables Digestibilité *In Vitro* (DIV), Matières Azotées Totales (MAT), Acid Detergent Fiber (ADF) et Neutral Detergent Fiber (NDF).

Source de variation	Pourcentage de variance expliquée (%) et $\sigma$				
	QI	CUDMS	CUDMO	CUDMA	CUDADF
Age repousse	7.14	20.84	23.41	17.49	15.94
Espèce four. (fge)	11.84	19.45	15.22	8.45	33.39
saison	0.01	0.27	0.03	0.05	0.31
Total sans inter	18.99	40.56	38.66	25.99	49.64
Ecartype résiduel	12.24	5.34	5.51	11.11	7.69
Inter âge*fge	12.3	6.27	6.07	10.66	6.73
Ecartype résiduel	11.28	5.05	5.17	10.28	7.15

**Tableau 27:** Pourcentage de variance expliquée (%) et écart type résiduel ( $\sigma$ ) par différentes sources de variation pour les variables Quantités Ingérées (QI), Coefficient d'Utilisation Digestive (CUD) de la MS (MS), de la Matière Organique (MO), des Matières Azotées Totales (MAT) et de l'ADF (ADF).

Classe d'âge	QI		CUDMS		CUDMO		DIV	
	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$
	g/kg	$P^{0.75}$ g/kg	%	%	%	%	%	%
< = 28 j	55.5	9.63	65.0	4.15	67.1	4.11	62.5	5.65
28-35 j	54.2	6.74	62.7	5.02	66.4	6.10	61.5	7.80
35-42 j	51.1	8.62	61.0	4.58	63.5	4.90	58.3	3.84
42-49 j	49.4	9.61	58.8	3.79	61.6	3.89	55.9	4.37
49-66 j	50.5	8.70	58.5	5.14	60.3	5.33	54.7	5.17
66-77 j	49.5	9.45	55.8	5.64	57.9	5.77	51.5	5.03
77 > j	46.8	11.41	54.2	4.18	55.3	5.71	47.3	3.08

**Tableau 28:** Moyenne et écart type intra-classe d'âge repousse corrigés pour la nature du fourrage, l'âge repousse et la saison, des Quantités Ingérées (QI), des Coefficients d'Utilisation Digestive (CUD) de la MS (MS), de la Matière Organique (MO) et de la digestibilité in vitro (DIV).

*libitum* par des fourrages tropicaux. Rees & Minson (1979) ont montré que les relations DIV/*in vivo* pouvaient devenir peu sûres quand les fourrages étaient peu ou mal fertilisés. Cependant, dans notre banque de données, tous les fourrages étaient correctement fertilisés (0.5 à 1 unité d'azote par ha et par jour de repousse).

#### 4.3 - Prédiction de la digestibilité *in vivo* des fourrages tropicaux graminéens originaires d'Afrique

Sur cette banque de donnée (BD2), deux types de calculs ont été pratiqués. Le premier consiste à essayer de prédire la digestibilité *in vivo* par des caractéristiques du proposé. Le second consiste à prédire la digestibilité *in vivo* par des caractéristiques de l'ingéré. Les résultats sont rapportés dans les tableaux 32 à 40 (annexe 1). Les caractéristiques des régressions obtenues entre digestibilité *in vivo* et digestibilité *in vitro*, bien que ne portant que sur un nombre limité de fourrages sont très similaires à celles calculées pour les fourrages de la Zone Caraïbe.

Les écart types résiduels restent supérieurs à 3.8 % quand la DIV est utilisée comme prédicteur du CUDMO. Les estimées sont environ égales à 0.55. L'intégration de la MAT et du produit MAT\*DIV permet d'abaisser l'écart type résiduel jusqu'à 3.1 %. Dans ces conditions, les valeurs des estimées de la DIV augmentent jusqu'à 0.8.

Les résultats obtenus pour les comparaisons digestibilité *in vivo* et *in vitro* de l'ingéré sont similaires voire moins bons que ceux obtenus à partir des proposés (annexe 1 : tableau 36 à 40).

La digestibilité *in vitro* pepsine-cellulase (Cell) s'avère être un prédicteur équivalent voire inférieur à la DIV. Les écartypes résiduels de la prédiction du CUDMO par la Cell varient entre 3.4 et 4.2 %. L'intégration de la MAT et du produit MAT\*Cell permet d'abaisser les écart types résiduels jusqu'à 3.4 % et 3.7 % respectivement pour la Cell exprimée par rapport à la MS ou la MO. Dans ces conditions, les estimées de la DIV augmentent jusqu'à 0.95. Ces résultats sont nettement moins bons que ce qui est rapporté par d'autres auteurs pour des fourrages tropicaux (McLeod & Minson, 1971, 1974 ; Terry *et al.*, 1978 ; Rees & Minson, 1979).

La similarité des résultats de prédiction des CUD *in vivo* entre les deux bases de données obtenues dans des conditions totalement différentes et les différences observées avec les données australiennes (équipe de Minson, Cf références) suggèrent que la méthode de mesure de la digestibilité *in vivo* est probablement peu adaptée aux fourrages tropicaux. Cette inadaptation ne peut être simplement reliée aux simples niveaux de refus. En effet, la partition des fichiers en fonction des niveaux de refus ne permet pas de dégager des relations statistiques satisfaisantes entre *in vivo* et *in vitro*. En outre, la prise en compte de la digestibilité *in vitro* de l'ingéré n'apporte pas d'amélioration notable dans les prédictions de la digestibilité *in vivo* par la digestibilité *in vitro*. La différence dans la qualité des

Espèces	MAT		ADF		NDF		CUDMA		CUDADF	
Espèces	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
< = 28 j	12.8	3.05	34.5	3.66	60.8	4.54	67.8	8.72	64.4	7.69
28-35 j	11.5	3.25	36.3	3.68	60.4	2.59	67.6	9.08	62.1	5.69
35-42 j	11.0	2.84	36.6	3.73	64.1	3.83	66.1	8.37	59.8	6.19
42-49 j	10.8	2.71	38.4	3.18	65.8	4.81	65.3	8.88	56.2	5.76
49-66 j	8.9	2.86	38.6	4.71	63.7	2.72	57.2	12.40	54.7	7.89
66-77 j	8.7	4.19	39.9	5.11	64.8	5.13	50.8	16.06	49.1	8.42
77 > j	10.2	4.81	41.7	5.01	59.1	0.14	47.7	14.40	48.4	7.31

**Tableau 29:** Moyenne et écart type pour des classes d'âge repousse corrigés pour la nature du fourrage et la saison, de la teneur en Matière Azotées Totales (MAT), en Acid Detergent Fiber (ADF), en Neutral Detergent Fiber (NDF), et des Coefficients d'Utilisation Digestive (CUD) des MAT et de l'ADF.

Espèces	QI		QI CUDMS		CUDMO		DIV	
	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$
	g/kg	P0.75	g/kg	P0.75	%	%	%	%
Transvala	49.6	5.39	57.5	3.55	60.6	3.81	54.0	4.96
Brachiaria	49.9	8.29	60.8	4.02	62.6	4.28	59.6	4.25
Swazilandensis	56.5	9.53	56.8	5.03	59.7	5.17	57.0	4.51
Hemarthria	48.4	9.83	69.4	2.51	71.5	2.63	58.7	5.06
Sorgho	44.8	7.50	59.2	4.29	61.3	4.42	61.6	6.97
Stylosenthes	51.3	10.9	58.8	4.78	60.4	5.08	55.4	7.10
Pangola	56.1	10.12	59.1	5.36	61.0	5.03	51.9	4.06
Guinea grass	51.3	9.88	54.0	5.43	56.7	5.99	49.5	4.91

**Tableau 30:** Moyenne et écart type intra-nature du fourrage, corrigés pour l'âge repousse et la saison, des Quantités Ingérées (QI), du Coefficient d'Utilisation Digestive (CUD) de la MS (MS), de la Matière Organique (MO) et de la digestibilité *in vitro* (DIV).



relations entre *in vivo* et *in vitro*, entre nos résultats et ceux rapportés par l'équipe de Minson est probablement due à des différences dans la méthode de mesure de la digestibilité *in vivo*. En effet, le fait de couper et sécher les fourrages en une seule opération réduit probablement les variations jour à jour dans la qualité de l'ingéré, permettant une meilleure précision des résultats de digestibilité (Minson, 1967).

Une hiérarchie entre les fourrages sur la base de leur digestibilité peut être obtenue avec l'une ou l'autre méthode de simulation *in vitro* de la digestibilité car les estimées avoisinent l'unité quand la MAT est introduite dans les équations de régression. Toutefois, la fiabilité de cette hiérarchie est à définir puisque les précisions des prédictions restent supérieures à 3 points ( $\sigma_r$ ). Dès lors, il est possible de s'interroger sur la validité d'une hiérarchie des fourrages tropicaux basée sur de nombreux gradients de valeurs énergétiques et dans une moindre mesure, de valeurs protéiques.

## 5 - TABLES PROBABILISEES DES VALEURS ALIMENTAIRES DES FOURRAGES TROPICAUX DE LA ZONE CARAIBE

### 5.1 - Méthodes

La base de données utilisée (BD3) dans cette section était constituée de mesures strictement de laboratoire. Les valeurs alimentaires ont été calculées selon les équations décrites dans les dernières versions du livre sur l'alimentation des ruminants de l'INRA (INRA, 1989).

Les teneurs en énergie brute des fourrages ont été calculées selon l'équation établie par Xandé & Garcia-Trujillo (1985). Deux types d'unités énergétiques ont été calculées : le premier est basé sur la DIV comme prédicteur direct de la digestibilité de la MS; le second est basé sur les équations de prédiction des CUDMS (F6) et des CUDMO qui ont été déduites des résultats de la cession précédente obtenus sur la base de données BD1. Les équations qui permettent de passer de l'énergie digestible aux énergies nettes pour les fourrages verts tempérés ont été utilisées. La liste des équations est donnée dans les tables des "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991). Les différentes formes d'énergie ont aussi été calculées en unités internationales pour permettre son utilisation par des personnes habituées aux unités anglaises et américaines.

Bien que médiocre et en l'absence de toute autre méthode, l'équation de prédiction des quantités ingérées par un mouton mâle castré à partir de la MAT, du CUDMS et de la MSh a été utilisée (F7). Il convient de prendre avec précaution ces données d'autant plus que la teneur en matière sèche de l'herbe (MSh) a été fixée à 20 %. L'unité d'encombrement choisie a été la quantité de MS ingérée d'une herbe jeune distribuée en vert à un mouton mâle castré : 75 g/kg  $P^{0.75}$  pour le milieu tempéré. Cette valeur a été conservée bien qu'elle soit nettement plus basse pour le milieu tropical

SOURCE	MO g/kg MS	MM g/kg MS	MAT g/kg MS	ADF g/kg MS	NDF g/kg MS	CB g/kg MS		
fertilisation	3.81	3.81	7.97	3.04	0.35	3.04		
saison	2.02	2.02	0.36	0.01	4.73	0.01		
âge	9.93	9.93	22.49	34.08	4.33	34.08		
fourrage	35.55	35.55	20.56	16.19	22.47	16.19		
total	51.31	51.31	51.39	53.33	31.88	53.33		
âge*fge	12.17	12.17	7.52	12.34	6.49	12.34		

  

SOURCE	EB MJ/kg MS	DIV %	DMES MJ/kg MS	ED MJ/kg MS	Q %	EM MJ/kg MS	ENEV MJ/kg MS	ENL MJ/kg MS
fertilisation	0.95	2.54	1.46	0.57	5.11	0.69	1.01	0.83
saison	2.46	0.72	0.88	2.22	0.07	2.18	1.69	1.96
âge	7.03	14.37	18.92	16.05	4.65	15.82	16.88	16.28
fourrage	40.74	30.61	24.15	22.05	30.78	23.23	23.87	23.50
total	51.19	48.23	45.40	40.89	40.61	41.92	43.44	42.56
âge*fourrage	12.22	7.20	7.77	9.85	9.21	9.80	8.90	9.39

  

SOURCE	PDIA g/kg MS	PDIME2 g/kg MS	PDIE g/kg MS	PDIMN g/kg MS	PDIN g/kg MS			
fertilisation	7.95	0.88	4.18	7.97	7.97			
saison	0.38	2.44	1.19	0.38	0.37			
âge	22.46	11.79	24.86	22.57	22.45			
fourrage	20.43	23.33	18.78	20.42	20.51			
total	51.22	38.44	49.00	51.33	51.29			
âge*fourrage	7.60	10.18	8.35	7.59	7.61			

**Tableau 41:** Pourcentage de variance expliquée par différentes sources de variation pour les compositions chimiques et les valeurs alimentaires de fourrages tropicaux de la zone Caraïbe.

VARIABLE	MO g/kg MS	MM g/kg MS	MAT g/kg MS	ADF g/kg MS	NDF g/kg MS	CB g/kg MS		
sans inter	21.6	21.6	20.6	33.9	49.7	32.0		
avec inter	19.3	19.3	19.6	30.0	48.8	28.4		

  

VARIABLE	EB MJ/kg MS	DIV %	DMES MJ/kg MS	ED MJ/kg MS	Q %	EM MJ/kg MS	ENEV MJ/kg MS	ENL MJ/kg MS
sans inter	0.43	4.77	3.16	0.64	0.5	0.52	0.40	0.34
avec inter	0.39	4.57	3.02	0.60	0.5	0.48	0.38	0.32

  

VARIABLE	PDIA g/kg MS	PDIME g/kg MS	PDIE g/kg MS	PDIMN g/kg MS	PDIN g/kg MS			
sans inter	5.9	2.7	6.6	7.3	13.1			
avec inter	5.6	2.6	6.3	6.9	12.5			

**Tableau 42:** Ecartype résiduel, après correction par l'âge repousse, le fourrage, la saison et la fertilisation, des compositions chimiques et les valeurs alimentaires de fourrages tropicaux de la zone Caraïbe (avec ou sans interaction âge repousse x fourrage).

(63 g/kg  $P^{0.75}$ , résultats obtenus sur BD1). En effet, les tables des valeurs alimentaires étant destinées à être utilisées avec des valeurs de besoins définis selon les unités du système français, une convention d'unité unique a été choisie. La liste des équations est donnée dans les tables des "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991).

Les équations de prédiction des **valeurs azotées**, PDIA et des PDIM, données dans l'ouvrage INRA (1988) ont été utilisées en fixant la dégradabilité théorique de l'azote à 53 %, valeur moyenne obtenue sur des données bibliographiques et des résultats de la SRZ (Aumont *et al.*, 1993 ; Cerneau *et al.*, 1992). La digestibilité des PDIA a été fixée à 70 %, valeur qui mériterait des études spécifiques de digestibilité réelle par la méthode des sachets mobiles. La teneur en lipides des fourrages pour le calcul de la MOF a été fixée à 18.5 g/kg MS, valeur moyenne des fourrages tropicaux (Xandé & Guérin, communication personnelle). La liste des équations est donnée dans les tables des "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991).

Les modèles généraux d'analyse des compositions chimiques de la DIV et des valeurs alimentaires incluaient le pays d'origine, la saison, la fertilisation, la nature et l'âge repousse du fourrage (F8).

$$Y_{ijklm} = F_i x A_j + N_k + P_l + S_m + e_{ijklm} \quad (F8)$$

$Y_{ijklm}$  est une valeur alimentaire

$F_i x A_j$  est l'effet du fourrage  $i$  à l'âge repousse  $j$

$N_k$  est l'effet de la fertilisation azotée

$P_l$  est l'effet du pays d'origine

$S_m$  est l'effet de la saison.

$e_{ijklm}$  : erreur résiduelle

## 5.2 - Importance des différents facteurs de variation

L'âge repousse et la nature du fourrage sont apparus comme les plus déterminants en terme de pourcentage de variance expliquée (tableaux 41 & 42). L'écart type résiduel de la DIV prédite par la saison et l'âge repousse est cependant supérieur à 4 points. **Le pays d'origine, la saison et la fertilisation azotée entre 1 et 2 UN/ha/j ne sont pas des facteurs déterminants, ni de la valeur énergétique, ni de la valeur azotée des fourrages.** Ces résultats nous ont conduit à ne faire figurer dans les tables des valeurs alimentaires que les facteurs age repousse et nature du fourrage. Toutefois, pour plus de précision, les écarts centrés inter-modalités intra-facteurs ont été donnés pour la saison, le pays d'origine et la fertilisation azotée. Tous ces résultats sont consultables dans des "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991).

Variable	unité	Limite 1	limite 2
MM	g/kgMS	95.0	113.1
ADF	g/kgMS	339.6	380.0
NDF	g/kgMS	658.3	688.9
DIV	(%)	55.19	61.00
DMES	(%)	58.00	61.70
ED1	MJ/kgMS	9.60	10.67
ED2	MJ/kgMS	10.07	10.78
ENEV1	UFL/kgMS	0.53	0.66
ENEV2	UFL/kgMS	0.58	0.66
ENL1	UFL/kgMS	0.63	0.71
ENL2	UFL/kgMS	0.66	0.72
MAT	g/kgMS	86.4	112.3
PDIA	g/kgMS	25.0	32.0
PDIME1	g/kgMS	43.0	47.0
PDIME2	g/kgMS	45.0	47.0
PDIE1	g/kgMS	68.0	77.0
PDIE2	g/kgMS	70.0	79.0
PDIMN	g/kgMS	30.0	40.0
PDIN	g/kgMS	55.0	72.0

**Tableau 43:** Tertiles ayant permis la modalisation des variables de compositions chimiques et de valeurs alimentaires des fourrages tropicaux pour les calculs d'aggrégation. Les suffixes 1 ou 2 aux variables d'énergie correspondent à des calculs pour lesquels le CUDMS est estimé soit directement par la DIV soit par l'équation qui lie le CUDMS à la DIV et à la MAT.

	pourcentage d'inertie	pourcentage cumulé
AXE1	27.14	27.14
AXE2	16.99	44.13
AXE3	12.18	56.31
AXE4	10.40	66.71
AXE5	4.87	71.58

**Tableau 44:** Inertie expliquée par les différents axes de l'analyse factorielle des valeurs alimentaires et de la composition chimique des fourrages tropicaux de la zone caraïbe

Les variances résiduelles intra-cellule des modèles ont permis de calculer une plage de dispersion (90 % de la population) qui donne aux utilisateurs des tables une idée de la précision de leur détermination.

## 5 - CLASSIFICATION DES FOURRAGES SUR LEURS VALEURS ALIMENTAIRES

### 5.1 - Méthodes

Une analyse factorielle a été conduite sur la base de données BD3 après modalisation en 3 classes isoprobables (tableau 43). Quatorze variables actives (43 modalités après apurement) ont été choisies de façon à éviter les redondances trop importantes sur la notion d'énergie ou sur la notion d'azote (ADF, DIV, ED, mm, ADF, ENV, ENL, PDIA, PDIE1, PDIE2, PDIME1, PDIME2, PDIN, MAT). Une classification mixte (nuée dynamique puis hiérarchie) a été conduite selon l'algorithme de ward (1963). Un apurement des classes a ensuite été pratiqué afin d'optimiser les distances des barycentres des classes au barycentre du nuage et le rapport de l'inertie interclasse à l'inertie totale. Le choix d'une coupure de la classification en 4 classes a été fait sur les possibilités d'interprétation des classes et les sauts d'inertie dans la phase hiérarchique de la classification.

Afin de stabiliser le résultats de la classification, une méthode proche du principe du "bootstrap" a été mise en oeuvre. Elle a consisté à rééchantillonner 200 fois une moitié du fichier de départ par tirage au hasard sans remise et à recommencer les procédures précédentes jusqu'à une partition en 4 classes de nuages. L'interprétation des classes ainsi obtenue a été faite par post-codage. Le comptage du nombre de fois pour lesquels un individu s'est retrouvé dans sa classe la plus fréquente a permis de déterminer une probabilité de premier ordre d'appartenance à la classe. L'analyse de cette fonction de probabilité a été ensuite conduite selon des procédures inférentielles "normales".

Les règles d'appartenance aux classes ont été déterminées par des méthodes discriminantes généralisées. L'appartenance à une classe a été considérée comme une variable latente, c.a.d une variable que l'on ne peut pas calculer mais dont on peut approcher la signification par des fonctions de probabilité. Trois fonctions canoniques (combinaisons linéaires généralisées d'un ensemble de variable  $Y_i$ ) ont été déterminées en optimisant un maximum de vraisemblance (Bishop *et al.*, 1975). Chaque paramètre ( $\alpha_i$ ) est testé par un  $\chi^2$  dont la distribution asymptotique est proche du t de student.

$$f_j = \sum \alpha_{ij} \times Y_i + \beta_j \quad (F9)$$

Quatre fonctions de probabilité d'appartenance aux 4 classes sont estimées par l'inverse d'une fonction logit généralisée. Le maximum des fonctions  $P_j$

axe	numéro d'ordre	intitulé question	modalité	valeur test
1	1	pdie1	moyen	-27.65
1	2	pdie2	moyen	-26.22
1	3	ed2	moyen	-25.36
1	-112	enev2	très faible	28.97
1	-113	ed2	très faible	29.50
1	-114	pdie1	très faible	29.62
2	1	enl2	faible	-27.68
2	2	enev2	faible	-27.51
2	3	ed2	faible	-25.44
2	-112	enev2	moyen	18.32
2	-113	ed2	moyen	18.69
2	-114	enl2	moyen	18.93
3	1	mat	faible	-26.25
3	2	pdia	faible	-26.14
3	3	pdin	faible	-25.98
3	-112	pdia	moyen	18.83
3	-113	pdimn	moyen	19.19
3	-114	mat	moyen	19.27
4	1	pdia	très faible	-26.25
4	2	mat	très faible	-26.14
4	3	pdin	très faible	-25.98
4	-112	pdime12	très faible	18.83
4	-113	pdime21	très faible	19.19
4	-114	pdime11	très faible	19.27

**Tableau 45:** Valeur test de la contribution aux axes des 6 meilleures modalités dans l'analyse factorielle des valeurs alimentaires et la composition chimique des fourrages tropicaux de la zone caraïbe (les variables ont été transformées en variables modales à 3 classes: très faible, faible et moyen).

classe	avant apurement			après apurement		
	poids	nombre	distance	poids	nombre	distance
classe 1	23.94	367	0.9674	25.56	382	0.9331
classe 2	13.67	200	0.7958	13.67	200	0.7958
classe 3	28.27	342	0.7019	28.51	346	0.6987
classe 4	29.81	404	0.9440	26.42	385	1.0348

**Tableau 46:** Poids des 4 classes de fourrages tropicaux et distance des classes au barycentre général avant et après la procédure d'apurement.

permet de connaître l'appartenance de l'élément à sa classe  $j$  et sa probabilité d'appartenance.

$$P_j = \exp(f_j) / (1 + \sum \exp(f_j)) \quad (F10)$$

$$\sum P_j = 1 \quad (F11)$$

Un grand nombre de combinaisons de variables a été utilisé pour prédire l'appartenance à la classe. Pour la meilleure des combinaisons (MAT & DIV, *Cf supra*) choisie sur le pourcentage de "bien classé" par rapport à la classification originelle (ou puissance de classification des règles), des procédures de bootstrap similaires à celles utilisées pour la classification ont été mises en oeuvre. La première procédure a consisté à recalculer les coefficients canoniques pour 100 fichiers constitués de 50% des individus choisis par tirage au hasard sans remise. La seconde procédure a consisté à bruite 100 fois chaque valeur de MAT et de DIV par l'ajout d'une variable normale centrée d'écart type égal à la variation intra-laboratoire des déterminations de DIV et de MAT du laboratoire de la SRZ. Ces procédures ont permis de déterminer la distribution théorique de la puissance de classement total et intra-classe, des règles de classement.

Déterminer la probabilité d'appartenance d'un ensemble d'individu, par exemple tous les fourrages d'un même genre et d'un même âge repousse revenait à calculer une grandeur similaire dans l'interprétation à la dispersion résiduelle intra-cellule des modèles généralisés classiques (*Cf* section 5.1). Une approche numérique a été choisie. Pour l'ensemble des combinaisons fourrages x âge repousse ( $n = 105$ ) à tester, une simulation du comportement des résultats des règles d'appartenance a été effectuée en calculant pour des populations de 1000 individus présentant des caractéristiques de MAT et de DIV identiques à celles du groupe à tester (même moyenne et écart type), les règles d'appartenance sur la médiane des coefficients canoniques. Les probabilités de second ordre d'appartenance aux classes ont pu alors être estimées. Ce sont ces probabilités qui sont données dans les tables des "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991).

## 5.2 - Classification

L'analyse factorielle a permis de mettre en évidence 4 axes principaux de dispersion totalisant 66.7% de l'inertie totale (tableau 44). Les axes 1 et 4 sont des combinaisons de modalités relatives à la valeur azotée et à la valeur énergétique. L'axe 2 et l'axe 3 représentent beaucoup plus clairement des axes respectivement d'énergie et d'azote (tableau 45). La classification sur les coordonnées factorielles a permis de répartir les fourrages dans quatre classes de poids relativement homogène et dont les barycentres sont significativement distants du barycentre du nuage (tableau 46). Après apurement de la classification, le rapport inertie inter-classe à l'inertie totale était égal à 0.4151, ce qui est le signe d'une bonne aggrégation.

classe	variable	modalité	cla/mod (%)	mod/clavaleur (%)	test
1	enl2	moyenne	81.90	97.12	32.11
1	ed2	moyenne	83.22	96.07	32.05
1	enev2	moyenne	79.04	98.69	32.03
1	ed1	moyenne	80.45	92.67	29.93
1	pdime2	moyenne	67.68	98.69	28.57
1	pdie1	moyenne	74.11	92.93	28.15
1	enl1	moyenne	75.11	91.62	27.90
2	pdin	très faible	46.73	100.00	22.82
2	mat	très faible	46.19	100.00	22.68
2	pdia	très faible	45.87	100.00	22.6
2	pdimn	très faible	46.23	92.00	20.15
2	pdime2	moyennne	26.85	80.00	10.8
2	pdie2	très faible	32.02	65.00	10.8
2	pdime1	moyenne	28.25	69.50	9.93
3	enl2	faible	69.57	97.11	28.41
3	enev2	faible	74.65	92.77	28.20
3	ed2	faible	71.26	89.60	26.23
3	ed1	faible	65.45	82.66	22.59
3	enl1	faible	64.45	78.61	21.26
3	pdime1	faible	63.38	78.03	20.81
3	enev1	faible	62.03	76.01	19.92
4	enev2	très faible	94.83	100.00	37.57
4	ed2	très faible	98.41	96.36	37.05
4	pdime2	très faible	87.16	98.70	34.43
4	enl1	très faible	86.50	98.18	33.97
4	pdime1	très faible	86.12	95.06	32.51
4	enev1	très faible	84.94	93.77	31.66
4	div	très faible	83.04	86.49	28.64

**Tableau 47:** Interprétation des classes de valeurs alimentaires des fourrages tropicaux: fréquence des classes intra-modalités et fréquence des modalités intra-classe.

		r <sup>2</sup>	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
MM	(g/kgMS)	4.59	120.2	66.6	113.5	80.9
MAT	(g/kgMS)	48.59	120.2	66.6	113.5	80.9
ADF	(g/kgMS)	22.25	338.2	378.8	351.0	393.4
NDF	(g/kgMS)	1.97	661.0	687.0	675.0	668.0
DIV	(%)	61.81	63.43	60.79	57.52	50.16
ED	(MJ/kgMS)	73.96	11.20	10.54	10.43	9.32
ENL	(UFL/kgMS)	73.87	0.75	0.71	0.69	0.61
ENEV	(UFV/kgMS)	73.58	0.66	0.62	0.60	0.51
PDIME	(g/kgMS)	71.03	48.8	47.2	45.6	41.6
PDIE	(g/kgMS)	61.61	82.7	67.6	77.6	65.1
PDIA	(g/kgMS)	48.43	34.1	18.9	32.2	22.9
PDIMN	(g/kgMS)	48.60	42.3	23.4	40.0	28.5
PDIN	(g/kgMS)	48.62	76.5	42.4	72.2	51.4

**Tableau 48:** Moyenne intra-classe des composition chimiques et des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la zone caraïbe.



L'interprétation des classes a été conduite par comparaison du profil fréquentiel des questions et des fréquences des modalités intra-classe aux profils moyens et à la fréquence moyenne (tableau 47). L'analyse des moyennes intra-classe des valeurs alimentaires est aussi très riche en terme d'interprétation de la signification nutritionnelle des classes (tableau 48). La classe 1 représente les fourrages jeunes et bien cultivés qui présentent une bonne valeur énergétique et une bonne valeur azotée. Un bon représentant de cette classe est un *Digitaria* très feuillu récolté à moins de 28 jours d'âge repousse. La classe 2 représente les fourrages de valeur énergétique moyenne mais à faible teneur en MAT. Un bon représentant de cette classe, bien que non inclu dans les analyses est la canne entière. La classe 3 représente les fourrages à teneur énergétique moyenne mais à bonne teneur en MAT. Un bon représentant de cette classe sont les légumineuses. Enfin, les fourrages de classe 4 sont pauvres en énergie et azote. Les fourrages âgés (> 45 jours), mal entretenus sont caractéristiques de cette classe. L'équilibre PDIE/PDIN est différent entre les classes 1, 2, et 3. La complémentation azotée des animaux doit tenir compte de ces différences en modulant la nature des constituants des compléments.

Les méthodes factorielles présentent l'inconvénient de ne pas proposer des méthodes prédictives permettant de s'appuyer sur une inférence qui permet de s'assurer de la validité des décisions obtenues. Le premier essai de calcul de probabilité de premier ordre permettait déjà d'apporter des informations sur la puissance de la méthode. Cette probabilité est de l'ordre de 86 %. Cette valeur ne dépend pas de l'âge repousse ni de la nature du fourrage (tableaux 49). Ces données suggèrent que la méthode utilisée est robuste et indépendante de la structure du fichier. Son utilisation dans d'autres situations comme pour les fourrages d'origine africaine est probablement possible. Cette probabilité de classement est tout à fait comparable à ce qui est obtenu quand la détermination des valeurs alimentaires est effectuée pour chaque fourrage sur la base de la digestibilité *in vivo* ou *in vitro*. En effet, la classification donne une valeur alimentaire globale qui est la combinaison des notions d'énergie et d'azote. Si les écart types des valeurs alimentaires sont utilisés pour la détermination d'une appartenance à un intervalle de confiance pour les UF et les PDI, les risques d'erreur de classement peuvent alors atteindre des valeurs de 50 % si l'on accepte l'hypothèse d'une indépendance des erreurs faites sur l'énergie et l'azote (tableau 3).

### 5.3 - Règles de prédiction pour l'appartenance des fourrages à leur classe

Il convenait d'apporter des règles de prédiction de l'appartenance aux classes sans passer par les étapes fastidieuses de la procédure factorielle. Les méthodes de discrimination utilisées (Cf section 5.1) ont permis de tester l'intérêt de différents paramètres pour prédire l'appartenance aux classes de fourrages. Les différents critères et les résultats de fréquence de "bien classé" sont donnés dans le tableau 50. L'association de la MAT et de la DIV a permis d'obtenir les meilleurs pourcentages de "bien classé" inter et intra-classe. L'apport de la notion de classe d'âge repousse ne permet pas un gain déterminant dans la prédiction. Il convenait toutefois de s'assurer de l'indépendance intra-classe et inter-classe entre la MAT et la DIV pour admettre l'intérêt de passer par

fourrages	Probabilité classement (%)	Age repousse	Probabilité classement (%)
Brachiaria decumbens	88.49	< =28j	88.23
Brachiaria humidicola	92.25	28-35j	86.92
Brachiaria mutica	86.59	35-42j	86.17
Cenchrus ciliaris	92.66	42-49j	86.55
Chloris guyana	84.32	49-66j	87.52
Cynodon nlemfluensis	88.71	66-77j	88.23
Cynodon dactylon	85.96	> 77	90.73
Digitaria decumbens	87.30		
Digitaria swasilandensis	90.74		
Digitaria transvala	97.12		
Hemarthria altissima	83.84		
Panicum maximum	87.74		
Paspalidium germinatum	85.40		
Paspalum plicatulum	81.58		
Setaria sphacelata	91.73		
Pennisetum clandestinum	94.06		
Pennisetum purpureum	87.00		
Sorghum bicolor	86.09		
Desmodium intortum	81.63		
Desmodium ovalifolium	79.77		
Glycina javanica	91.41		
Stylosanthes gyanensis	83.98		
P. purpureum*thyphoides	88.69		

**Tableau 49:** Probabilité de premier ordre de classement dans les classes de valeurs alimentaires de fourrages tropicaux de différents genres et à des ages-repousse différents (données calculées après bootstrap).

règles	toutes classes	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
MAT + DIV	81.10	86.46	80.40	72.75	83.59
AGE + FGE	60.32	66.23	31.16	58.26	20.87
FGE + FERTI	49.12	74.05	29.15	47.83	35.68
AGE + FERTI	46.00	76.88	14.57	6.09	67.19
AGE + SAISON + FGE	55.29	66.75	23.62	61.45	54.69
AGE + FGE + FERTI	51.79	67.27	34.67	51.88	45.05
AGE + FERTI + SAI	60.24	66.49	41.71	56.81	66.67
FG + AG + FE + SAI	56.13	67.79	30.65	55.94	57.81
FGE + DIV	66.87	88.05	26.64	64.35	67.71
AGE + MAT	32.21	12.21	28.14	23.48	62.24
AGE + DIV	72.73	79.22	62.81	60.29	82.55
FGE + MAT	56.89	73.25	64.82	53.91	39.06
MAT + DIV + AGE	82.48	86.72	84.42	73.33	85.68

**Tableau 50:** Fréquence des fourrages tropicaux bien classés dans leur classe de valeurs alimentaires par différentes règles de classement élaborées par analyse discriminante généralisée.

une fonction logit généralisée. Le tableau 51 montre les coefficients de corrélation entre MAT et DIV. Le grand nombre de données rend significatif des coefficients de corrélation qui ne dépassent pas 0.3 en valeur absolue.

La méthode de rééchantillonnage a permis de déterminer la distribution empirique des 9 coefficients canoniques qui permettent de calculer les fonctions de probabilité. Leur distribution est normale (tableau 52). De la même façon, les distributions des pourcentages de "bien classé" utilisant la MAT et la DIV sont données dans le tableau 53. Le pourcentage moyen de "bien classé" est ainsi de  $81.1 \% \pm 1.65 \%$ . Quand on utilise les coefficients canoniques les pourcentages de "bien classé" sont  $74.6 \% \pm 0.81 \%$  (tableau 54). Quand les médianes des coefficients canoniques sont utilisées, le pourcentage de "bien classé" est 80.7 % (annexe 1: tableau 55). Ces coefficients ont été utilisés dans les tables des "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion" (Aumont *et al.*, 1991).

La règle de décision obtenue présente l'avantage de ne tenir compte ni de la nature ni de l'âge repousse du fourrage. Elle peut donc être utilisée dans d'autres situations tropicales. En revanche, les déterminations de la MAT et de la DIV sont entachées d'erreurs. Nous avons voulu tester les effets de cette erreur sur la puissance des règles en utilisant les coefficients canoniques déterminés lors de la première phase de calcul sur l'ensemble du fichier. La puissance moyenne de classement n'est pas changée et les écart types des pourcentages de "bien classé" n'excèdent pas 2.5 % (annexe 1: tableau 56). Les règles d'appartenance sont donc robustes et résistent aux erreurs de détermination au laboratoire.

#### 5.4 - Intérêt et limites du système basé sur des agrégats

La méthode de hiérarchisation des fourrages proposée est moins fine que la méthode classique qui utilise des grandeurs continues. Toutefois, l'utilisation de règles trop fines ne se justifiait pas toujours statistiquement pour le cas des fourrages tropicaux pour lesquels la prévision de la digestibilité est difficile. Le fait d'avoir utilisé des gradients plus grossiers mais plus sûrs n'a pas diminué l'intérêt du système puisque les nuances entre les différentes formes de PDI sont conservées. En outre, la fiabilité de la détermination de l'appartenance aux classes de fourrages s'est avérée bonne. **L'interprétation nutritionnelle des classes est simple mais reste à expérimenter en terme de performance animale.** Enfin, il restait à tester l'intérêt de ce système basé sur des agrégats pour faire passer les notions d'énergie et d'azote parmi les utilisateurs.

## 6 - DIFFUSION RAPPROCHEE DES DONNES

Ce travail a fait l'objet de la publication d'un ouvrage sur les "Valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion"

classes	toutes classes	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
<b>r</b>	0.2378	-0.1872	-0.0652	-0.3353	-0.0280
<b>Signification</b>	0.01	0.01	NS	0.01	NS

**Tableau 51:** Coefficient de corrélation entre DIV et MAT inter et intra-classes des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux.

	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$
<b>moy</b>	-86.34	-42.74	-43.82	1.4966	-0.6035	1.0616	1.2284	0.8903	0.6074
<b>med</b>	-85.75	-41.69	-42.78	1.4790	-0.5767	1.0568	1.2199	0.8189	0.6016
<b>std</b>	5.46	3.86	4.14	0.1360	0.1132	0.1120	0.0777	0.0737	0.0597
<b>min</b>	-102.50	-54.75	-58.24	1.1246	-0.8739	0.8115	1.0530	0.6904	0.4857
<b>max</b>	-72.63	-35.43	-34.69	1.8802	-0.3716	1.4279	1.4839	1.0684	0.8277

**Tableau 52:** Distribution empirique des 9 coefficients canoniques des fonctions des règles d'appartenance aux classes ( $f_i = \beta_i + \alpha_{1i} \cdot \text{mat} + \alpha_{2i} \cdot \text{DIV}$ ).

variabilité	toutes classes	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
<b>moy</b>	81.11	85.97	80.23	73.26	84.69
<b>med</b>	81.11	86.75	80.40	73.04	84.81
<b>std</b>	1.65	1.68	1.65	2.144	1.02
<b>min</b>	80.52	80.52	74.87	68.70	82.20
<b>max</b>	82.05	88.31	83.92	77.97	86.45

**Tableau 53:** Distribution empirique des fréquences de fourrages tropicaux "bien classés" dans leur classe de valeurs alimentaires par analyse discriminante généralisée basée sur la MAT et la DIV.

variabilité	toutes classes	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
<b>moy</b>	74.59	79.39	74.39	62.72	80.54
<b>med</b>	74.61	79.35	74.37	62.61	80.73
<b>std</b>	0.81	1.62	2.11	2.24	1.22
<b>min</b>	72.52	75.84	69.85	57.52	78.13
<b>max</b>	76.24	82.60	79.40	68.12	83.33

**Tableau 54:** Distribution empirique des fréquences de fourrages tropicaux "bien classés" dans leur classe de valeurs alimentaires par analyse discriminante généralisée fondée sur l'utilisation des coefficients canoniques moyens pour la MAT et la DIV.

(Aumont *et al.*, 1991). La présentation de cette publication et des données qui la fondent a été faite au cours de deux journées organisées sous l'égide de l'Association Scientifique pour le développement des Productions Animales aux Antilles et en Guyane, en Martinique (17 Novembre 1991) et en Guadeloupe (14 Janvier 1992). Les représentants du CEMAGREF, de l'Institut de l'élevage, des chambres d'agriculture, de l'établissement départemental de l'élevage (EDE), des enseignants en agriculture, des étudiants et des éleveurs étaient présents lors de ces deux journées.

Les tables des valeurs alimentaires ont reçu un accueil favorable. Toutefois, il est apparu, à la lumière des questions posées, que le système des PDI était loin d'être intégré dans l'esprit des professionnels. A l'inverse les notions d'énergie et d'azote ont semblé plus familières, permettant la compréhension du système basé sur des agrégats. Les effets pervers concernant la validité des études menées à l'INRA en la Guadeloupe et au CEMAGREF en Martinique ont pu être éliminés par la présentation des difficultés méthodologiques. Cependant, les notions de probabilité, de dispersion et d'intervalles de confiance demeurent encore très difficiles pour les professionnels. L'ajout des notions de probabilités dans les 2 systèmes (système classique et système basé sur des agrégats) a généré des difficultés dans la compréhension des données.

Les participants à ces réunions ont souvent fait état du besoin d'une plaquette simple sur les valeurs alimentaires des fourrages tropicaux, destinée aux techniciens de terrain et aux éleveurs. Un projet est en cours d'élaboration entre les administrations départementales de l'agriculture des deux départements, la Station de Recherches Zootechniques et la mission IEMVT de Guadeloupe pour permettre le financement de cette plaquette.

## CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude représentent la synthèse d'une masse considérable de résultats. Les fourrages arbustifs et en particulier les légumineuses ne sont pas représentés dans les banques de données présentées dans ce document. Un travail spécifique doit être mené pour déterminer leurs valeurs alimentaires et en particuliers leurs valeurs protéiques. Les fourrages tropicaux sont dans leur ensemble pauvres en énergie et en protéines et peu ingestibles. Les recherches génétiques effectuées pour rechercher des fourrages moins lignifiés et donc plus digestibles permettront peut-être d'aboutir à des produits permettant des performances animales supérieures.

Quelques soient les unités dans lesquelles on l'exprime, il reste à vérifier, par des mesures animales, la réalité nutritionnelle des constructions intellectuelles que représentent tel ou tel système de hiérarchisation des valeurs alimentaires. Celles-ci sont comprises comme des données mesurées à l'auge. Toutefois, l'optimisation des méthodes d'utilisation des fourrages les mieux adaptés à chaque complexe pédo-climatique, par des animaux au pâturage, est une voie prometteuse d'amélioration des systèmes d'alimentation

des ruminants en milieu tropical. C'est vers cette voie de recherche que se tourne l'équipe de la Station de Recherches Zootechniques de Guadeloupe.

## **Remerciements**

---

Nous tenons à remercier Le professeur Sauvart de l'Institut National Agronomique pour ses conseils et ses encouragements tout au long de ce travail, ainsi que les collègues de la Station de Recherches Zootechniques pour la lecture du manuscrit.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aufrère, J. and Michalet-Doreau, B., 1988. Comparison of methods for predicting digestibility of feed. *Animal Feed Science and technology*, **20**, 203-218.
- Aufrère, J., 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Annales de Zootechnie*, **31**, 111-130.
- Aumont, G., Caudron, I., Saminadin, G. and Xandé, A., 1993. Prediction of the digestibility of tropical forages by chemical composition, *in vitro* digestibility and agronomical factors. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress*, New Zealand, (In press).
- Aumont, G., Caudron, I. and Xandé, A., 1991. Tables des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la Zone Caraïbe et de la Réunion. pp 129. SRZ ed. Guadeloupe, INRA publications.
- Aumont, G., Caudron, I. and Xandé, A., 1993. Effects of errors in chemical determination on the prediction of the nutritive values of tropical forages expressed in the french unit system. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress* (In press).
- Belsey, D.A., Kush, E., and Welsch, R.E., 1980. Regression diagnostics, Wiley B. & son Ed. New York .
- Benzecri, J.P., 1973. L'analyse des données. Tome 2: l'analyse des correspondances. 2nd Edn., Dunod ed., Paris (France).
- Demarquilly, C. and Jarrige, R., 1964. Valeur alimentaire de l'herbe des prairies temporaires aux stades d'exploitation pour le pâturage. 1 - Composition chimique et digestibilité. *Annales de Zootechnie*, **13**, 301-340.
- Forthofer, R.N. and Koch, G.G., 1973. An analysis of compounded functions of categorical data. *Biometric*, **29**, 143-157.
- Furnival, G.M. and Wilson, R.W., 1974. Regression by leaps and bounds. *Technometrics*, **16**, 499-511.

- Guerin, H., Richard, D., Lefevre, P., Friot, D., and Mbaye, N., 1989: Prévision de la valeur nutritive des fourrages ingérés sur parcours naturels par les ruminants domestiques sahéliens et soudaniens. *"Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice 1989*, pp 879-880.
- INRA, 1978. *Alimentation des ruminants*, pp 597, Ed. INRA Publications.
- INRA, 1981. Alimentation des ruminants. Principes de l'Alimentation des Ruminants. Besoins alimentaires des animaux et valeur nutritive des aliments. Jarrige R. ed. INRA publication (Paris).
- INRA, 1988. *Alimentation des bovins, ovins & caprins*, pp 471, Ed. INRA Publications, Paris.
- INRA, 1989. *Ruminant nutrition : recommended allowances and feed tables*, pp 597, R. Jarrige Ed., INRA, Paris.
- Jones, D.I.H. and Hayward, M.V., 1975. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *Journal of Food Science and Technology*, **24**, 244-249.
- McLeod, M.N., and Minson, D.J., 1969. Sources of variation of *in vitro* digestibility of tropical grasses. *Journal of British Grassland Society*, **24**, 244-249.
- McLeod, M.N. and Minson, D.J., 1974. Predicting organic matter digestibility from *in vivo* and *in vitro* determinations of dry matter digestibility. *Journal of British Grassland Society*, **29**, 17-21.
- Minson, D.J., 1971. The voluntary intake and digestibility, in sheep, of chopped and pelleted *Digitaria decumbens* (pangola grass) following a late application of fertilizer nitrogen. *British Journal of Nutrition*, **21**, 587-597.
- Minson, D.J. and McLeod, M.N., 1970. The digestibility of temperate and tropical grasses. *Proceedings of the 11th International Grassland Congress, Surfers Paradise*, 719-722.
- Minson, D.J. and McLeod, M.N., 1972. The *in vitro* technique. Its modification for estimating digestibility of a large numbers of tropical pasture samples. *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Division of tropical pastures. Technical Paper. N  8*.
- Rees, M.C., and Minson, D.J., 1979. The validity of *in vitro* techniques using rumen fluid or cellulase for predicting changes in the dry matter digestibility of grasses caused by fertilizer calcium, sulphur, phosphorus and nitrogen. *Journal of British Grassland Society*, **34**, 19-25.



- Sauvant, D., Aufrère, J., Michalet-Doreau, B., Giger, S. and Chapoutot, P., 1987. Valeur nutritive des aliments concentrés simples : Tables et prévision. *Bulletin Technique CRZV Theix, I.N.R.A.*, **70**, 75-89.
- Silva Colomer, J., Zarate, M., Guevara, J.C. and Frasinelli, C., 1989. Enzymatic solubility and other analytic parameters predicting digestibility in grasses of middling food value. In "*Proceedings of the XVI International Grassland Congress*", Nice 1989, pp 891-892.
- Terry, R.A., Mundell, D.C. & Osburn, D.F., 1978. Comparison of two in vitro procedures using rumen liquor-pepsin or pepsin-cellulase for prediction of forage digestibility. *Journal of British Grassland Society*, **33**, 13-18.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A., 1963. A two stages technique for *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, **18**, 104-111.
- Ward, J.J., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistic Association*, **58**, 236-244.
- Xandé, A. and Garcia-Trujillo, R., 1985. *Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux de la zone caraïbe*, pp 51, Ed. INRA Publications, Paris
- Xandé, A., Garcia-trujillo, R. and Caceres, O., 1989. Feeds of the humid tropics (West Indies). In "*Ruminant nutrition, Recommended allowances and feed tables*", pp 347-362. R. Jarrige Ed., INRA, Paris (France).

CORDET 1991

***ANNEXE 1 : TABLEAUX DE RESULTATS COMPLEMENTAIRES***

Pred. Variable	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$	label	Var 1 est	SD	libel	var 2 est	SD	Intercept est	SD
(% MO)			(% MS)	(% MS)		(% MS)	(% MS)		(% MS)	(% MO)	(% MO)
CUDMO	274	0.420	4.851	DIV	0.489	0.044	MAT	0.360	0.095	29.79	2.31
CUDMO	262	0.449	4.361	DIV	0.494	0.040	MAT	0.394	0.088	28.91	2.11
CUDMO	239	0.566	3.788	DIV	0.569	0.039	MAT	0.330	0.084	25.31	2.09
CUDMO	231	0.556	3.669	DIV	0.557	0.040	MAT	0.341	0.083	25.90	2.14
CUDMO	275	0.991	6.145	DIV	1.002	0.023	MAT	0.407	0.120		
CUDMO	258	0.993	4.981	DIV	1.004	0.020	MAT	0.391	0.101		
CUDMO	247	0.995	4.504	DIV	0.990	0.018	MAT	0.415	0.093		
CUDMO	238	0.995	4.309	DIV	0.997	0.019	MAT	0.374	0.097		

**Tableau 15:** Equations de prédiction du CUDMO par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MS), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$	label	Var 1 est	SD	libel	var 2 est	SD	libel	var 3 est	SD	Intercept est	SD
(% MO)			(% MS)	(% MS)		(% MS)	(% MS)		(% MS)	(% MS <sup>2</sup> )		(% MS <sup>2</sup> )	(% MO)	(% MO)
CUDMO	274	0.428	4.824	DIV	0.763	0.143	MAT	1.812	0.729	MATDIV	-0.0261	0.0300	14.79	7.82
CUDMO	263	0.497	4.352	DIV	0.808	0.133	MAT	2.165	0.676	MATDIV	-0.0308	0.0120	11.16	7.30
CUDMO	256	0.537	3.800	DIV	0.779	0.132	MAT	1.404	0.670	MATDIV	-0.0196	0.0119	14.03	7.19
CUDMO	223	0.567	3.605	DIV	0.753	0.151	MAT	1.408	0.758	MATDIV	-0.0182	0.0133	14.48	8.42
CUDMO	275	0.994	4.847	DIV	1.032	0.019	MAT	3.122	0.230	MATDIV	-0.0497	0.0038		
CUDMO	265	0.995	4.393	DIV	1.015	0.017	MAT	3.066	0.210	MATDIV	-0.0475	0.0035		
CUDMO	257	0.996	4.138	DIV	1.005	0.017	MAT	2.975	0.201	MATDIV	-0.0451	0.0033		
CUDMO	243	0.996	3.823	DIV	1.013	0.016	MAT	2.581	0.211	MATDIV	-0.0389	0.0344		

**Tableau 16 :** Equations de prédiction du CUDMO par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MS), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (% MS)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ label (% MS)	Var 1 est SD (% MS)	libel (% MO)	var 2 est SD (% MO)	Intercept est SD (% MS)				
CUDMS	274	0.415	4.767	DIV	0.492	0.043	MATO	0.266	0.083	28.10	2.27
CUDMS	262	0.483	4.225	DIV	0.511	0.040	MATO	0.261	0.075	27.09	2.09
CUDMS	255	0.501	4.020	DIV	0.502	0.038	MATO	0.265	0.073	27.54	2.01
CUDMS	275	0.990	5.948	DIV	0.976	0.022	MATO	0.307	0.103		
CUDMS	259	0.993	4.854	DIV	0.985	0.019	MATO	0.256	0.087		
CUDMS	247	0.994	4.413	DIV	0.976	0.018	MATO	0.274	0.081		

**Tableau 17:** Equations de prédiction du CUDMS par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MO), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (% MS)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MO)	var 2 est	SD (% MO)	libel (% MO <sup>2</sup> )	var 3 est	SD (% MO <sup>2</sup> )	Intercept est	SD (% MS)
CUDMS	274	0.425	4.736	DIV	0.772	0.139	MATO	1.629	0.648	MATODIV	-0.0024	0.0115	12.76	7.59
CUDMS	264	0.474	4.262	DIV	0.755	0.129	MATO	1.605	0.602	MATODIV	-0.0236	0.0107	13.39	7.10
CUDMS	258	0.506	4.083	DIV	0.740	0.125	MATO	1.404	0.583	MATODIV	-0.0202	0.0103	14.30	6.84
CUDMS	225	0.546	3.482	DIV	0.696	0.138	MATO	0.997	0.634	MATODIV	-0.0134	0.0111	16.84	7.70
CUDMS	275	0.994	4.753	DIV	1.003	0.018	MATO	2.663	0.206	MATODIV	-0.0430	0.0034		
CUDMS	264	0.995	4.228	DIV	0.989	0.016	MATO	2.617	0.184	MATODIV	-0.0412	0.0031		
CUDMS	258	0.996	3.978	DIV	0.970	0.016	MATO	2.586	0.180	MATODIV	-0.0392	0.0030		
CUDMS	239	0.996	3.618	DIV	0.987	0.015	MATO	2.201	0.184	MATODIV	-0.0339	0.0030		

**Tableau 18:** Equations de prédiction du CUDMS par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MO), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (% MO)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MO)	var 2 est	SD (% MO)	Intercept est (% MO)	SD (% MO)
CUDMO	274	0.421	4.846	DIV	0.490	0.044	MATO	0.326	0.084	29.78	2.31
CUDMO	263	0.483	4.392	DIV	0.488	0.040	MATO	0.370	0.078	29.19	2.12
CUDMO	231	0.557	3.665	DIV	0.557	0.040	MATO	0.307	0.074	25.92	2.01
CUDMO	275	0.990	6.140	DIV	1.002	0.023	MATO	0.369	0.107		
CUDMO	258	0.993	4.982	DIV	1.002	0.019	MATO	0.347	0.090		
CUDMO	239	0.995	4.318	DIV	1.001	0.018	MATO	0.317	0.085		

**Tableau 19:** Equations de prédiction du CUDMO par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MO), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (% MO)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MO)	var 2 est	SD (% MO)	libel (% MS <sup>2</sup> )	var 3 est	SD (% MS <sup>2</sup> )	Intercept est (% MO)	SD (% MO)
CUDMO	274	0.430	4.815	DIV	0.775	0.141	MATO	1.714	0.659	MATODIV	-0.0249	0.0117	14.16	7.71
CUDMO	263	0.499	4.347	DIV	0.819	0.131	MATO	2.029	0.611	MATODIV	-0.0291	0.0108	10.58	7.20
CUDMO	258	0.537	4.189	DIV	0.922	0.132	MATO	2.476	0.607	MATODIV	-0.0362	0.0108	4.23	7.24
CUDMO	223	0.569	3.599	DIV	0.760	0.148	MATO	1.317	0.682	MATODIV	-0.0172	0.0116	14.11	8.28
CUDMO	275	0.994	4.836	DIV	1.031	0.018	MATO	2.862	0.209	MATODIV	-0.0455	0.0035		
CUDMO	265	0.995	4.381	DIV	1.016	0.017	MATO	2.808	0.191	MATODIV	-0.0435	0.0032		
CUDMO	258	0.996	4.154	DIV	1.003	0.017	MATO	2.777	0.182	MATODIV	-0.0420	0.0031		
CUDMO	243	0.996	3.818	DIV	1.013	0.016	MATO	2.364	0.192	MATODIV	-0.0357	0.0032		

**Tableau 20 :** Equations de prédiction du CUDMO par la Digestibilité *in vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % de la MO), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (g/kgP0.75)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MS)	var 2 est	SD (% MS)	Intercept est (g/kgP0.75)	SD (g/kgP0.75)
QI	353	0.167	9.090	CUDMS	0.540	0.080	MSOFF	0.678	0.110	5.99	5.70
QI	337	0.204	8.025	CUDMS	0.513	0.072	MSOFF	0.719	0.100	9.19	5.16
QI	308	0.234	7.066	CUDMS	0.499	0.068	MSOFF	0.798	0.100	5.30	5.01
QI	354	0.971	9.093	CUDMS	0.616	0.034	MSOFF	0.744	0.090		
QI	339	0.977	8.080	CUDMS	0.597	0.031	MSOFF	0.777	0.081		
QI	322	0.980	7.406	CUDMS	0.566	0.030	MSOFF	0.846	0.079		

**Tableau 21:** Equations de prédiction des quantités ingérées (QI) par le CUDMS, la teneur en MS du fourrage offert (MSOFF) et la teneur en Matières Azotées Totales (MAT), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (g/kgP0.75)	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label (% MS)	Var 1 est	SD (% MS)	libel (% MS)	var 2 est	SD (% MS)	libel (% MS)	var 3 est	SD (% MS)	Intercept est (g/kgP0.75)	SD (g/kgP0.75)
QI	334	0.231	7.858	CUDMS	0.412	0.075	MSOFF	0.845	0.105	MAT	0.522	0.143	3.57	5.14
QI	315	0.251	7.312	CUDMS	0.417	0.040	MSOFF	0.875	0.106	MAT	0.550	0.149	2.51	5.09
QI	275	0.990	6.140	CUDMS	0.389	0.072	MSOFF	0.969	0.103	MAT	0.605	0.143	0.97	4.95
QI	352	0.973	8.908	CUDMS	0.452	0.052	MSOFF	0.874	0.094	MAT	0.643	0.156		
QI	332	0.978	7.852	CUDMS	0.453	0.047	MSOFF	0.888	0.084	MAT	0.538	0.141		
QI	306	0.982	7.026	CUDMS	0.438	0.047	MSOFF	0.929	0.082	MAT	0.531	0.145		

**Tableau 22:** Equations de prédiction des QI par le CUDMS, la teneur en MS du fourrage offert (MSOFF) et la teneur en Matières Azotées Totales (MAT), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Pred. Variable (g/kgP <sup>0.75</sup> )	df	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (% MS)	label	Var 1 est	SD (% MS)	libel	var 2 est	SD (% MS)	libel	var 3 est	SD (% MS)	libel	var 4 est	SD (% MS)	Intercept est	SD (g/kgP <sup>0.75</sup> )
QI	251	0.313	8.545	CUDMS	0.350	0.098	MSOFF	0.962	0.132	MAT	0.831	0.200	ADF	-0.426	0.1010	8.64	8.87
QI	241	0.352	7.654	CUDMS	0.354	0.090	MSOFF	0.994	0.121	MAT	0.688	0.183	ADF	-0.449	0.0918	9.69	8.08
QI	204	0.546	5.884	CUDMS	0.335	0.079	MSOFF	1.273	0.103	MAT	0.767	0.163	ADF	-0.563	0.0809	7.74	6.88
QI	188	0.548	5.457	CUDMS	0.274	0.078	MSOFF	1.293	0.106	MAT	0.795	0.162	ADF	-0.545	0.0787	9.92	6.88
QI	252	0.975	8.604	CUDMS	0.501	0.067	MSOFF	1.103	0.114	MAT	0.958	0.192	ADF	-0.287	0.0764		
QI	240	0.980	7.579	CUDMS	0.512	0.060	MSOFF	1.198	0.105	MAT	0.785	0.173	ADF	-0.323	0.0699		
QI	197	0.989	5.581	CUDMS	0.480	0.052	MSOFF	1.387	0.089	MAT	0.855	0.152	ADF	-0.417	0.0620		

**Tableau 23:** Equations de prédiction des QI par le CUDMS, la teneur en MS du fourrage offert (MSOFF), la teneur en Matières Azotées Totales (MAT) et la teneur en Acid detergent Fiber (ADF), de fourrages tropicaux de Guadeloupe (F.W.I.).

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de régressions.

Espèces ADF	MAT		ADF		NDF		CUDMA		CUD	
	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$	Moy	$\sigma$
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Transvala	9.4	2.29	35.3	4.96	67.25	3.95	55.3	8.71	55.95	3.37
Brachiaria	10.5	2.43	39.3	3.31	68.84	1.46	63.5	10.12	63.18	3.33
Swazilandensis	10.6	2.82	35.7	2.73	67.52	9.95	58.4	10.64	55.57	1.16
Hemarthria	6.9	1.28	36.8	0.90	.	.55	1	9.62	68.52	2.90
Sorgho	8.5	1.69	37.4	3.42	60.2	3.64	54.0	10.35		
Stylosenthes	15.7	4.15	44.4	6.48	53.04	5.58	66.4	13.39	50.18	3.37
Pangola	11.7	1.87	34.6	2.91	63.51	1.76	62.9	8.84	53.54	7.74
Guinea grass	8.6	2.48	40.3	4.89	69.23	6.65	59.5	13.39	48.28	4.49

**Tableau 31:** Moyenne et écart type intra-nature du fourrage, corrigés pour l'âge repousse et la saison, de la teneur en Matière Azotées Totales (MAT), en Acid Detergent Fiber (ADF), en Neutral Detergent Fiber (NDF), et des Coefficients d'Utilisation Digestive (CUD) des MAT et de l'ADF.



pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	σ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	σ (%)
CUDMO	65	0.285	9.414	mat	1.615	0.323							41.64	3.56
	60	0.505	4.135	mat	1.316	0.169							46.78	1.89
	55	0.536	3.374	mat	1.217	0.154							47.74	1.68
CUDMO	65	0.923	16.640	mat	5.181	0.187								
	64	0.944	14.308	mat	5.322	0.164								
	59	0.956	12.499	mat	5.668	0.159								
CUDMO	64	0.119	10.444	cel-ie	0.492	0.169							30.28	9.74
	59	0.201	4.790	Cel-ie	0.301	0.079							43.23	4.58
	56	0.267	4.200	Cel-ie	0.318	0.071							42.11	4.15
CUDMO	65	0.966	11.129	Cel-ie	1.012	0.023								
	61	0.984	7.880	Cel-ie	1.047	0.017								
	56	0.988	6.803	Cel-ie	1.039	0.016								
CUDMO	64	0.313	9.300	Cel-ie	0.256	0.160	MAT	1.4232	0.3406				29.00	8.67
	60	0.539	4.097	Cel-ie	0.111	0.074	MAT	1.2037	0.1835				41.59	3.92
	57	0.524	3.574	Cel-ie	0.105	0.067	MAT	1.0559	0.1717				43.51	3.49
CUDMO	65	0.973	10.023	Cel-ie	0.746	0.070	MAT	1.4634	0.3668					
	62	0.987	7.155	Cel-ie	0.748	0.057	MAT	1.5719	0.2966					
	59	0.988	6.790	Cel-ie	0.801	0.061	MAT	1.3044	0.3255					
CUDMO	65	0.976	9.536	Cel-ie	0.760	0.067	MAT	3.8759	0.9421	MatCeli	-0.0420	0.0153		
	62	0.994	4.715	Cel-ie	0.757	0.037	MAT	5.6675	0.5000	MatCeli	-0.0697	0.0078		
	58	0.996	3.836	Cel-ie	0.796	0.035	MAT	5.7800	0.4455	MatCeli	-0.0747	0.0066		

**Tableau 32:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), la dégradabilité cellulasique de Maison Alfort (Cel-ie pour la MS) et les Matières Azotées Totales (MAT, % MS) pour des échantillons de "proposés" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
CUDMO	64	0.116	10.467	Cel-srz	0.619	0.216							28.29	10.26
	59	0.251	4.639	Cel-srz	0.443	0.100							38.79	4.97
	57	0.313	4.197	Cel-srz	0.476	0.094							37.13	4.70
CUDMO	65	0.967	10.956	Cel-srz	1.190	0.028								
	60	0.988	6.528	Cel-srz	1.210	0.017								
	55	0.993	4.995	Cel-srz	1.198	0.013								
CUDMO	64	0.290	9.452	Cel-srz	0.158	0.227	MAT	1.4780	0.3780				35.36	9.74
	60	0.507	4.152	Cel-srz	0.073	0.102	MAT	1.2489	0.1940				43.91	4.42
	57	0.558	3.398	Cel-srz	0.222	0.089	MAT	0.9369	0.1690				39.63	3.82
CUDMO	65	0.971	10.325	Cel-srz	0.927	0.091	MAT	1.2233	0.4067					
	61	0.989	6.408	Cel-srz	0.919	0.059	MAT	1.3316	0.2690					
	56	0.993	5.266	Cel-srz	0.979	0.061	MAT	1.1627	0.2811					
CUDMO	65	0.978	9.137	Cel-srz	0.903	0.081	MAT	5.0655	0.9638	MtCelsrz	-0.0737	0.0171		
	63	0.994	4.621	Cel-srz	0.849	0.042	MAT	5.7822	0.4916	MtCelsrz	-0.0805	0.0087		
	57	0.997	3.376	Cel-srz	0.951	0.040	MAT	4.9870	0.4417	MtCelsrz	-0.0736	0.0070		

**Tableau 33:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), la dégradabilité cellulasique de la SRZ (cel-srz) et les Matières Azotées Totales (MAT, % MS), pour des échantillons de "proposés" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

$\sigma$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
CUDMO	64	0.130	10.382	Cel-io	0.502	0.164							31.25	8.97
	59	0.201	5.254	Cel-io	0.326	0.085							43.11	4.66
	58	0.220	4.503	Cel-io	0.293	0.073							44.81	4.02
CUDMO	65	0.965	11.249	Cel-io	1.067	0.025								
	61	0.983	8.156	Cel-io	1.100	0.019								
	55	0.987	6.927	Cel-io	1.091	0.017								
CUDMO	64	0.318	9.269	Cel-io	0.271	0.156	MAT	1.4044	0.3401				29.17	8.02
	60	0.532	4.057	Cel-io	0.130	0.072	MAT	1.1753	0.1836				41.19	3.92
	58	0.516	3.580	Cel-io	0.138	0.064	MAT	0.9833	0.1681				42.74	3.22
CUDMO	65	0.972	10.127	Cel-io	0.783	0.075	MAT	1.4821	0.3709					
	62	0.986	7.434	Cel-io	0.782	0.062	MAT	1.6049	0.3097					
	59	0.987	7.087	Cel-io	0.797	0.067	MAT	1.5848	0.3383					
CUDMO	65	0.976	9.543	Cel-io	0.802	0.071	MAT	3.8800	0.8740	MtCelio	-0.0444	0.0148		
	62	0.994	4.754	Cel-io	0.800	0.039	MAT	5.5780	0.4680	MtCelio	-0.0718	0.0077		
	57	0.997	3.724	Cel-io	0.842	0.036	MAT	5.5220	0.4100	MtCelio	-0.0744	0.0064		

**Tableau 34:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), la dégradabilité cellulasique de Maison Alfort (cel-io pour la MO) et les Matières Azotées Totales (MAT, % MS), pour des échantillons de "proposés" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

$\sigma$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
CUDMO	65	0.177	10.095	DIV	0.501	0.136							27.63	8.47
	60	0.589	4.410	DIV	0.561	0.609							25.30	3.81
	58	0.445	3.840	DIV	0.548	0.081							25.90	5.12
CUDMO	65	0.967	10.820	DIV	0.940	0.022								
	60	0.993	5.156	DIV	0.956	0.011								
	56	0.994	4.705	DIV	0.915	0.010								
CUDMO	64	0.330	9.184	DIV	0.280	0.137	MAT	1.3093	0.3482				27.56	7.70
	59	0.512	3.776	DIV	0.170	0.103	MAT	0.9755	0.2090				39.50	5.33
	57	0.568	3.239	DIV	0.252	0.093	MAT	0.7891	0.1839				36.29	4.79
CUDMO	65	0.972	10.007	DIV	0.718	0.067	MAT	1.3119	0.3795					
	62	0.990	6.056	DIV	0.781	0.047	MAT	1.0284	0.2687					
	58	0.995	4.521	DIV	0.898	0.042	MAT	0.3516	0.2403					
CUDMO	65	0.980	8.659	DIV	0.729	0.058	MAT	4.8742	0.8252	MatDiv	-0.0565	0.0120		
	62	0.996	4.180	DIV	0.693	0.033	MAT	6.4000	0.5600	MatDiv	-0.0752	0.0077		
	57	0.997	3.154	DIV	0.778	0.033	MAT	5.1300	0.6264	MatDiv	-0.0629	0.0079		

**Tableau 35:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), et la *Digestibilité In vitro* (DIV) et les Matières Azotées Totales (MAT, % MS), pour des échantillons de "proposés" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

$\sigma$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	rCV (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
DIVi	58	0.175	9.450	15.03	Cel-iei	0.549	0.158	30.54	9.37
DIVi	59	0.975	10.203	16.23	Cel-iei	1.059	0.022		
DIVi	58	0.217	9.206	14.64	Cel-srzi	0.813	0.205	22.09	10.33
DIVi	59	0.978	9.487	15.09	Cel-srzi	1.248	0.024		

**Tableau 36:** Relations entre la Digestibilité *In Vitro* (DIV), la dégradabilité cellulasique de la SRZ (cel-srzi) et la dégradabilité cellulasique de Maison Alfort (Cel-iei pour la MS), pour des échantillons reconstitués d'"ingéré" de fourrages africains.

$\sigma^2$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	σ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	σ (%)
CUDMO	57	0.139	8.831	Cel-iei	0.111	0.147							33.47	8.76
	54	0.150	4.826	Cel-iei	0.253	0.083							45.72	4.92
	52	0.146	4.335	Cel-iei	0.220	0.075							47.68	4.46
CUDMO	58	0.974	9.828	Cel-iei	1.003	0.022								
	55	0.985	7.584	Cel-iei	1.016	0.017								
	47	0.992	5.658	Cel-iei	1.008	0.014								
CUDMO	57	0.174	8.729	Cel-iei	0.381	0.152	MAT i0.6024	0.3960					30.76	8.84
	55	0.465	4.286	Cel-iei	0.134	0.077	MAT i1.1505	0.2049					40.77	4.41
	52	0.434	3.775	Cel-iei	0.105	0.071	MAT i0.9865	0.1945					44.29	4.01
CUDMO	58	0.976	9.556	Cel-iei	0.844	0.079	MAT i0.8798	0.4250						
	56	0.988	6.837	Cel-iei	0.762	0.060	MAT i1.4360	0.3245						
	54	0.988	6.712	Cel-iei	0.720	0.062	MAT i1.7088	0.3421						
CUDMO	58	0.998	9.180	Cel-iei	0.882	0.078	MAT i2.8304	0.9199	MatCelii	-0.0358	0.1511			
	56	0.995	4.626	Cel-iei	0.805	0.041	MAT 5.1260	0.5040	MatCelii	-0.0646	0.0079			
	54	0.996	4.131	Cel-iei	0.809	0.038	MAT i5.5960	0.4910	MatCelii	-0.0730	0.0075			

**Tableau 37:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), la dégradabilité cellulasique de Maison Alfort (Cel-iei pour la MS) et les Matières Azotées Totales (MATi, % MS), pour des échantillons reconstitués d'"ingéré" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

σ : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
CUDMO	57	0.047	9.289	Cel-srzi	0.344	0.206							42.31	10.42
	54	0.192	4.708	Cel-srzi	0.371	0.104							42.01	5.30
	51	0.249	4.014	Cel-srzi	0.393	0.096							40.75	4.70
CUDMO	58	0.970	10.480	Cel-srzi	1.179	0.027								
	54	0.990	3.104	Cel-srzi	1.190	0.016								
	47	0.994	4.786	Cel-srzi	1.185	0.014								
CUDMO	57	0.094	9.142	Cel-srzi	0.206	0.219	MAT i0.7240	0.4307					41.52	10.27
	55	0.449	4.352	Cel-srzi	0.122	0.105	MAT i1.1727	0.2128					42.38	4.89
	50	0.530	3.232	Cel-srzi	0.236	0.085	MAT i0.9246	0.1718					38.93	4.04
CUDMO	58	0.972	10.319	Cel-srzi	1.006	0.107	MAT i0.8038	0.4857						
	55	0.991	6.051	Cel-srzi	0.950	0.064	MAT i1.1719	0.2966						
	52	0.993	5.098	Cel-srzi	0.941	0.058	MAT i1.2527	0.2764						
CUDMO	58	0.978	9.223	Cel-srzi	1.017	0.096	MAT i4.4468	1.0327	matCelsrzi-0.0719	0.0185				
	56	0.995	4.281	Cel-srzi	0.949	0.046	MAT i5.1450	0.4835	matCelsrzi-0.7657	0.0086				
	51	0.997	3.280	Cel-srzi	0.949	0.039	MAT i4.9520	0.4380	matCelsrzi-0.0732	0.0072				

**Tableau 38:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), la dégradabilité cellulasique de la SRZ (cel-srzi) et les Matières Azotées Totales (MATi, % MS), pour des échantillons reconstitués d'"ingéré" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

$\sigma$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
CUDMO	57	0.167	8.689	Cel-ioi	0.446	0.133							34.56	7.57
	54	0.174	4.759	Cel-ioi	0.251	0.075							46.53	4.66
	51	0.175	4.270	Cel-ioi	0.237	0.073							47.52	4.10
CUDMO	58	0.973	10.087	Cel-ioi	1.047	0.023								
	53	0.987	7.200	Cel-ioi	1.063	0.017								
	43	0.994	4.787	Cel-ioi	1.063	0.013								
CUDMO	57	0.199	8.594	Cel-ioi	0.392	0.137	MATi	0.5838	0.3887				31.33	7.79
	55	0.484	4.211	Cel-ioi	0.156	0.069	MATi	1.1290	0.1997				40.15	3.88
	52	0.444	3.530	Cel-ioi	0.109	0.059	MATi	0.9268	0.1746				44.73	3.39
CUDMO	58	0.975	9.688	Cel-ioi	0.856	0.082	MATi	1.0147	0.4212					
	56	0.987	7.250	Cel-ioi	0.761	0.065	MATi	1.6139	0.3343					
	52	0.989	6.629	Cel-ioi	0.775	0.066	MATi	1.5916	0.3473					
CUDMO	58	0.978	9.136	Cel-ioi	0.920	0.081	MATi	2.9920	0.8050	MatCelioi-0.03996	0.0141			
	56	0.995	4.681	Cel-ioi	0.842	0.043	MATi	5.0329	0.4463	MatCelioi-0.0660	0.0075			
	51	0.996	3.816	Cel-ioi	0.853	0.038	MATi	5.3960	0.4350	MatCelioi-0.0738	0.0070			

**Tableau 39:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), la dégradabilité cellulasique de Maison Alfort (cel-ioi pour la MO) et les Matières Azotées Totales (MATi, % MS) pour des échantillons reconstitués d'"ingéré" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

$\sigma$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine



pred. variable (%)	ddl	r <sup>2</sup>	$\sigma$ (%)	label (%)	Var 1 est	SD (%)	label (%)	Var 2 est	SD (%)	label (%)	Var 3 est	SD (%)	Intercept est (%)	$\sigma$ (%)
CUDMO	57	0.220	8.408	DIVi	0.426	0.107							32.87	6.82
	55	0.617	4.280	DIVi	0.515	0.055							57.67	3.51
	53	0.373	3.963	DIVi	0.467	0.084							30.51	5.41
CUDMO	58	0.974	9.912	DIVi	0.936	0.020								
	55	0.992	5.271	DIVi	0.943	0.011								
	49	0.995	4.250	DIVi	0.948	0.010								
CUDMO	57	0.229	8.433	DIVi	0.386	0.118	MATi	0.3285	0.4041				31.85	6.95
	55	0.659	4.081	DIVi	0.446	0.059	MATi	0.5377	0.2123				26.33	3.39
	53	0.494	3.594	DIVi	0.254	0.097	MATi	0.7504	0.2144				36.27	5.17
CUDMO	58	0.974	9.823	DIVi	0.823	0.081	MATi	0.6625	0.4634					
	55	0.993	5.264	DIVi	0.890	0.051	MATi	0.3199	0.2970					
	52	0.994	4.853	DIVi	0.898	0.049	MATi	0.2811	0.2903					
CUDMO	58	0.983	8.075	DIVi	0.878	0.067	MATi	4.1550	0.7637	MatDivi	-0.058284	0.0110		
	56	0.996	3.973	DIVi	0.838	0.035	MATi	3.6389	0.4042	MatDivi	-0.0458	0.0056		
	54	0.997	3.597	DIVi	0.804	0.037	MATi	4.5879	0.6490	MatDivi	-0.0574	0.0082		

**Tableau 40:** Relations entre la Digestibilité *In Vivo* de la MO (CUDMO), et la *Digestibilité In vitro* (DIVi) et les MATières Azotées Totales (MATi, % MS), pour des échantillons reconstitués d'"ingéré" de fourrages africains.

La progression dans les ddl est le résultat d'un choix des éléments pour lesquels les résidus sont dans les 90 % de la normalité ou/et qui ne pèsent pas sur les équations de prédiction.

$\sigma$  : écart type résiduel, SD : écart type de l'estimée, ddl : degrés de liberté, r<sup>2</sup> : carré du coefficient de régression, rCV : coefficient de variation résiduel, intercept : ordonnée à l'origine

variabilité	toutes classes	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
moy	80.71	85.36	81.23	79.54	81.18
med	80.68	85.26	81.36	79.45	81.26
std	0.78	1.41	1.98	2.18	0.98
min	79.89	80.67	76.78	74.42	80.25
max	81.93	90.28	84.37	83.12	84.54

**Tableau 55:** Distribution empirique des fréquences de fourrages tropicaux "bien classés" dans leur classe de valeurs alimentaires par analyse discriminante généralisée fondée sur l'utilisation des coefficients canoniques médians pour la MAT et la DIV.

variabilité	toutes classes	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
moy	83.28	85.11	83.72	74.99	88.39
med	83.28	85.19	84.11	74.78	88.43
std	0.869	1.43	2.19	2.41	1.37
min	81.26	82.53	78.65	70.33	82.78
max	85.22	87.85	87.5	80.71	91.26

**Tableau 56:** Distribution empirique des fréquences de fourrages tropicaux "bien classés" dans leur classe de valeurs alimentaires par analyse discriminante généralisée basée sur la MAT et la DIV "bruitées" par des variables aléatoires centrées d'écart type égaux aux erreurs intra-laboratoire estimées pour le laboratoire des analyses des aliments de la SRZ.

**CORDET 1991**

***ANNEXE 2 : DECLARATION D'INTENTION ET ANALYSE  
BUDGETAIRE***

## RENSEIGNEMENTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

## RESUME

**TITRE CONDENSE : MODELISATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES TROPICAUX****OBJECTIFS DU PROGRAMME : (4 lignes maximum)**

- 1 - Elaborer des modèles stochastiques de prévision de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux sur une base de donnée Caraïbe, DOM et Afrique
- 2 - Hiérarchiser de façon synthétique des fourrages pour permettre des recommandations alimentaires adaptées aux éleveurs et aux différents acteurs de la production animale dans les pays tropicaux à technicité moyenne (exemple : les DOM)
- 3 - Diffuser l'information directement par les chercheurs dans le milieu agricole des DOM pour sensibiliser le monde agricole à l'alimentation.

**SITUATION DU PROJET : (8 lignes maximum)**

La recherche tropicale en nutrition des herbivores a essentiellement essayé d'adapter les systèmes d'alimentation (unités, hiérarchie, besoins) des pays tempérés à la situation tropicale. En conséquence, les produits de la recherche sont le plus souvent très peu adaptés aux réalités tropicales tant sur le plan technique que sur le plan "communication vers le monde agricole". Ainsi, le système français complexe des unités alimentaires (UF/PDI/MSI) est inopérant dans la majorité des situations dans les DOM. Nous proposons de reprendre **des bases de données** de compositions chimiques et de digestibilité *in vivo* et *in vitro* des fourrages tropicaux de la Caraïbe (INRA-SRZ), des DOM et de l'Afrique (IEMVT) pour recalculer des modèles inférentiels classiques de prévision de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux. Puis, par des méthodes de calcul intensif sur ordinateur, des classifications probabilisées seront élaborées afin de proposer une **version synthétique et facilement diffusable dans le milieu agricole de recommandations alimentaires**. Les concepteurs de ce projet souhaitent, sur la demande des acteurs de la production animale des DOM, présenter **directement** ces nouvelles "tables des valeurs alimentaires des fourrages".

**PROGRAMMES DES TRAVAUX : (résumé des différentes phases en 8 lignes maximum)**

- 1 - Constitution et mise en place des accès aux banques de données à la SRZ (INRA) et à l'IEMVT.
- 2 - Echange d'échantillons standards entre IEMVT et INRA pour homogénéiser les méthodes d'estimation *in vitro* de la digestibilité.
- 3 - Calculs des modèles inférentiels de prévisions de la valeur alimentaire des fourrages après adaptation des équations de prédiction pour déterminer les valeurs énergétiques et azotée.
- 4 - Elaboration des classifications par calculs intensif sur ordinateur (ré-échantillonnage) et validation en retour des modèles par les données réciproques des 2 banques de données.
- 5 - Elaboration et diffusion rapprochée d'une plaquette auprès des acteurs du développement : CEMAGREF, EDE, Coopératives, DAC, AITAM, etc...

JOINDRE DEUX ENVELOPPES AVEC ADRESSE DU RESPONSABLE SCIENTIFIQUE.

C O R D E T 1 9 9 1

DECLARATION D'INTENTION

réservé CORDET  
reçu le :  
N° enreg :  
Thème :  
Zone :

OBJET : (titre développé de l'étude proposée) mots clefs  
Modélisation de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux  
pour une nouvelle hiérarchisation et de nouvelles recomman-  
dations alimentaires -

Titre condensé : Modélisation de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux

ORGANISME DEMANDEUR : I.N.R.A.

adresse : Domaine Duclos - B.P. 1232  
97184 POINTE-A-PITRE CEDEX

Téléphone : 25.59.25

Forme juridique : E.P.S.T. Personne ayant qualité  
pour engager juridiquement l'organisme demandeur (nom,  
fonction) :

COORDONNATEUR et/ou RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Nom et prénom : AUMONT Gilles

Adresse professionnelle : I.N.R.A. - B.P. 1232 - 97184 POINTE-A-PITRE CEDEX

EQUIPE : membre participant / organisme / laboratoire

- XANDE Alain : INRA - Station de Recherches Zootechniques Guadeloupe

- Hubert GUERIN : I.E.M.V.T. - Maisons Alfort

- RICHARD Didier : Institut Sénégalais de Recherche Agronomique (Dakar)

LABORATOIRE(S) ou ETABLISSEMENT (S) où doit être réalisé le programme proposé :

nom	adresse	téléphone
- Station de Recherches Zootechniques	- INRA Guadeloupe	: Calculs
- I.E.M.V.T. - Maisons Alfort		: Calculs

BUDGET PREVISIONNEL : (hors salaires et TTC)

durée prévue (12 ~~XXXX~~ mois ?) - dates de réalisation : janvier 91  
janvier 92

FINANCEMENT TTC	COUT TOTAL	FONDS PROPRES	DEMANDE CORDET
Déplacements	51 000	41 000	10 000
Vacations	0	0	0
Equipements	50 000	20 000	30 000
Fonctionnements	60 000	10 000	50 000
Frais	3 038	3 038	0
TOTAL TTC :	164 038	74 038	90 000

Ce programme a-t'il déjà été présenté à la CORDET ? : NON

## RECAPITULATIF DE L'UTILISATION DES FONDS CORDET DU PROJET D 91 140

Item	Nb	P.U. HT	total HT
<b>Fonctionnement</b>			
DIV	131	285	38 760
Pepsine-cellulase	131	205	27 880
<b>TVA</b>			12 546
frais de dossier INRA			3 212
<b>TOTAL</b>			79 948

La demande initiale du projet était de 90 000 F. Seuls 80 000 F ont pu être attribués au projet par la CORDET. Les échanges avec l'IEMVT et en particulier les voyages Guadeloupe Sénégal n'ont pu être effectués.